



**FACULTAD DE INGENIERÍA ARQUITECTURA Y
URBANISMO**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS

**“DISEÑO DE UN MODELO DINÁMICO CON REDES
NEURONALES ARTIFICIALES PARA PREDECIR LA
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO CIVIL**

Autor:

Bach. Chingay Gonzales Gary Angelo

0000-0001-7310-1214

Asesor:

Dr. Ing. Campos Ugaz Walter Antonio

0000-0002-1186-5494

**Línea de Investigación
Infraestructura, Tecnología y medio Ambiente**

**Pimentel – Perú
2020**

TESIS:

**DISEÑO DE UN MODELO DINÁMICO CON REDES
NEURONALES ARTIFICIALES PARA PREDECIR LA
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO**

Aprobación de tesis

Dr. Campos Ugaz Walter Antonio
Asesor

MSc. Muñoz Pérez Sócrates Pedro
Presidente de jurado

Mg. Marin Bardales Noe Humberto
Secretario de jurado

Mg. Idrogo Pérez César Antonio
Vocal de jurado

DEDICATORIA

A Dios porque ha guiado mis pasos y ha estado a mi lado en cada instante, cuidándome, protegiéndome y dándome fuerzas para continuar.

A mis padres, Francisco y Felicita, y a mis hermanos, quienes siempre me mantuvieron motivado para culminar este desafío académico.

A mi sobrino Jeremy, quien es el motivo para que yo día a día tenga las ganas y el valor para salir adelante y ser su ejemplo a futuro.

Gary Angelo

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Señor de Sipán, Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Urbanismo, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, a los docentes, por haberme formado con una gran excelencia académica para poder superarme y llegar a la meta profesional.

A mi Asesor de tesis, Dr. Campos Ugaz Walter Antonio por su esfuerzo y dedicación, quien, con sus conocimientos, experiencia, visión crítica, consejos, paciencia y motivación ha logrado que pueda terminar con éxito el presente trabajo de investigación.

Agradezco al Tec. Wilson Olaya Aguilar encargado del Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Señor de Sipán, por el continuo apoyo que me brindó durante la realización de los ensayos de agregados para la presente Tesis.

Por último, a todas las personas que contribuyeron de forma indirecta en la realización de este trabajo. A todos, gracias totales.

RESUMEN

En la presente tesis de investigación se diseña un modelo de inteligencia artificial basado en redes neuronales artificiales, que permite pronosticar o estimar la resistencia que ofrece el concreto ante los esfuerzos de compresión (f'_c).

El proceso de investigación consistió en un inicio en conformar una base de datos, constituida por diseños de mezclas (propiedades físicas de los agregados y cantidades de materiales por m^3) y resistencias a la compresión de testigos de concreto ensayadas según la norma NTP 339.034, estos datos se obtuvieron de tesis de titulación de ingeniería civil, publicadas en el repositorio y biblioteca de la universidad Señor de Sipán y universidad Cesar Vallejo Chiclayo.

Posteriormente, se efectuó el procesamiento de datos para la elaboración del modelo de red neuronal artificial en el software Matlab, el cual está conformado por 20 variables de entrada (resistencia de diseño, tipo de cemento, tamaño máximo nominal del agregado grueso, módulo de fineza del agregado fino y grueso, peso unitario suelto del agregado fino y grueso, peso unitario compactado del agregado fino y grueso, peso específico del agregado fino y grueso, contenido de humedad del agregado fino y grueso, Absorción del agregado fino y grueso, cantidad de cemento, cantidad agua, cantidad de agregado fino, cantidad de agregado grueso, edad de curado de probetas) y una variable de salida (resistencia a la compresión del concreto). En la etapa de entrenamiento se propusieron 10 modelos, la metodología utilizada es la propagación hacia atrás y el algoritmo empleado es el de Levenberg Marquardt, el cual tiene como objetivo minimizar el error cuadrático medio (MSE). Se escogió el modelo de red neuronal con el mayor R^2 .

Finalmente, para la etapa de simulación del modelo de red neuronal artificial se han elaborado 48 probetas de concreto, las cuales sirvieron para comparar los resultados del ensayo en la máquina de compresión, con los resultados del modelo de red neuronal propuesto, por medio del coeficiente de determinación se llega a concluir que el uso de redes neuronales artificiales es un procedimiento válido para la predicción de la resistencia a la compresión del concreto.

Palabras claves: Concreto, Resistencia a la compresión, Redes neuronales artificiales, Matlab, Propiedades de agregados y Diseño de mezcla.

ABSTRACT

In this research thesis an artificial intelligence model is designed based on artificial neural networks, which allows to predict or estimate the resistance to axial compression stress of the concrete ($f'c$).

The investigation process consisted in the beginning of forming a historical base of mix designs (physical properties of aggregates and quantities of materials per m^3) and compressive strengths of concrete witnesses tested according to NTP 339.034, these data were obtained of civil engineering degree thesis, published in the repository and library of the Lord of Sipán University and Cesar Vallejo Chiclayo University.

Subsequently, data processing was carried out for the elaboration of the artificial neural network model in Matlab software, which is made up of 20 input variables (design resistance, cement type, maximum nominal size of coarse aggregate, fineness module of fine and coarse aggregate, loose unit weight of fine and coarse aggregate, compacted unit weight of fine and coarse aggregate, specific weight of fine and coarse aggregate, moisture content of fine and coarse aggregate, Absorption of fine and coarse aggregate, amount of cement, amount of water, amount of fine aggregate, amount of coarse aggregate, age of specimen curing) and an output variable (compressive strength of concrete).

In the training stage, 10 models were proposed, the methodology used is backward propagation and the algorithm used is the Levenberg Marquardt, which aims to minimize the mean square error (MSE). The neural network model with the largest R^2 was chosen.

Finally, for the simulation stage of the artificial neural network model, 48 concrete specimens have been developed, which were used to compare the results of the test in the compression machine, with the results of the proposed neural network model, by means of the coefficient of determination, it is concluded that the use of artificial neural networks is a valid procedure for the prediction of the compressive strength of concrete.

Keywords: Concrete, Compressive strength, Artificial neural networks, Matlab, Aggregate properties and Blend design.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	21
1.1. Realidad Problemática:	21
1.2. Trabajos Previos:	24
1.2.1. A Nivel Internacional:	24
1.2.2. A Nivel Nacional:	26
1.2.3. A Nivel Local:.....	28
1.3. Teorías Relacionadas al Tema:.....	29
1.3.1. El Concreto:	29
1.3.2. Cemento:.....	29
1.3.3. Agregados:.....	29
1.3.4. Agua	33
1.3.5. Propiedades del concreto	33
1.3.6. Ensayo de resistencia a la compresion del concreto	36
1.3.7. Propiedades de los Agregados	38
1.3.8. Diseño de mezcla de concreto	39
1.3.9. Redes neuronales artificiales	50
1.4. Formulación del Problema:	68
1.5. Justificación e Importancia del Estudio:	68
1.5.1. Justificación tecnológica:	68
1.5.2. Justificación social:	69
1.5.3. Justificación ambiental:	69
1.5.4. Justificación económica.....	69
1.6. Hipótesis:.....	69
1.7. Objetivos:	69

1.7.1.	Objetivo General:	69
1.7.2.	Objetivos Específicos:	69
II.	MATERIAL Y MÉTODO.....	71
2.1.	Tipo y Diseño de Investigación:	71
2.1.1.	Tipo de investigación:	71
2.1.2.	Diseño de la investigación:	71
2.2.	Población y muestra:.....	71
2.2.1.	Población:	71
2.2.2.	Muestra	71
2.3.	Variable, Operacionalización	73
2.3.1.	Variable Dependiente	73
2.3.2.	Variable independiente	74
2.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad:	74
2.4.1.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	74
2.4.2.	Validez y confiabilidad de los instrumentos:.....	74
2.5.	Procedimiento de análisis de datos	74
2.5.1.	Diagrama de flujo de proceso	74
2.5.2.	Descripción de los procesos.....	76
2.6.	Aspectos éticos:	81
2.7.	Criterios de rigor científico:	81
III.	RESULTADOS	82
3.1.	Resultados en tablas y figuras	82
3.1.1.	Elaboración de la base de datos para el diseño de la red neuronal artificial ...	82
3.1.2.	Implementación en Matlab (nntool).....	99
3.1.3.	Implementación del algoritmo Levenberg Marquardt	99

3.1.4. Modelación de la resistencia a la compresión del concreto con Redes Neuronales artificiales	101
3.1.5. Resumen de los Modelos de Redes Neuronales Artificiales diseñados	114
3.1.6. Simulación con la Red Neuronal_09.....	115
3.1.7. Resistencia a la compresión del concreto mediante el ensayo en la máquina de compresión según NTP 339.034.....	119
3.1.8. Comparación de $f'c$ entre el ensayo en la máquina de compresión y la Red_neuronal_09	120
3.2. Discusión de resultados.....	121
3.2.1. Etapa de entrenamiento	121
3.2.2. Etapa de Simulación.....	122
IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	124
4.1. Conclusiones	124
4.2. Recomendaciones	125
REFERENCIAS	126
ANEXOS	130

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Granulometría del agregado fino	30
Tabla 2. Requisitos granulométricos del agregado grueso	32
Tabla 3. Consistencia/asentamiento	34
Tabla 4. Tolerancia permisible para tiempo de curado y hora de ensayo.....	37
Tabla 5. Porcentaje de dispersión máxima	38
Tabla 6. Resistencia a la compresión promedio	40
Tabla 7. Consistencia y Asentamientos	40
Tabla 8. Asentamientos recomendados para varios tipos de construcción.....	41
Tabla 9. Requerimientos aproximados de agua de mezclado y de contenido de aire para diferentes valores de asentamiento y tamaños máximos de agregados.	42
Tabla 10. Contenido de agua de mezcla	43
Tabla 11. Relación agua/cemento y resistencia a la compresión del concreto.	44
Tabla 12. Máxima relación agua/cemento permisible para concretos sometidos a condiciones especiales de exposición.	45
Tabla 13. Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto.	46
Tabla 14. Cuadro de diseño de mezcla	72
Tabla 15. Cuadro de Técnicas e Instrumentos de recolección de datos	74
Tabla 16. Variables de entrada y salida empleadas para el modelo de red neuronal artificial	83
Tabla 17. Tesis utilizadas de la Universidad Señor de Sipán	84
Tabla 18. Tesis utilizadas de la Universidad Cesar Vallejo Chiclayo	86
Tabla 19. Base de datos para el entrenamiento de la red neuronal artificial	88
Tabla 20. Representación numérica del cemento.....	98
Tabla 21. Resumen de los modelos de Redes Neuronales Artificiales	114
Tabla 22. Resultados de ensayos realizados a los agregados.....	115
Tabla 23. Resumen de mezcla de concreto	116
Tabla 24. Conjunto de datos “PREDICTION”	117
Tabla 25. Resistencia a la compresión del concreto mediante la Red_neuronal_09.....	119
Tabla 26. Resistencia a la compresión del concreto mediante el ensayo con la máquina de compresión	119

Tabla 27. Comparación de resultados del ensayo en la máquina de compresión VS	
Red_neuronal_09	120
Tabla 28. Resultados del proceso de entrenamiento de la red neuronal_09	121

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Elementos de una neurona biológica	51
Figura 2. Comparación de una neurona biológica y una artificial	52
Figura 3. Modelación matemática de una neurona biológica	53
Figura 4. Función de activación lineal	54
Figura 5. Función tangente Sigmoidal	55
Figura 6. Función Logaritmo Sigmoidal	55
Figura 7. Modelos de Redes Neuronales Artificiales.....	56
Figura 8. Red Neuronal Multicapa	57
Figura 9. Etapa de funcionamiento del algoritmo Backpropagation.....	58
Figura 10. Superficie de Error	61
Figura 11. Método del gradiente decreciente.....	62
Figura 12. Secuencia para la modelación de la resistencia a la compresión del concreto mediante el Matlab.....	75
Figura 13. Programa Matlab, Ventana NNTOOL.....	99
Figura 14. Importacion de los conjuntos INPUT y TARGET al Matlab	101
Figura 15. Conjuntos importados a Neural Network	102
Figura 16. Diseño de la Red_Neuronal_09.....	103
Figura 17. Modelo de red neuronal empleado en la investigación	104
Figura 18. Arquitectura de Red_Neuronal_09.....	105
Figura 19. Ventana de configuración para el entrenamiento de la red neuronal	105
Figura 20. Ventana de entrenamiento.....	106
Figura 21. Evolución del error en función del número de iteraciones de la Red Neuronal_09	107
Figura 22. Regresión para los datos de entrenamiento, validación, test y total de datos de la Red Neuronal_09	108
Figura 23. Pesos desde la capa de entrada hacia la capa oculta N° 1 de la Red Neuronal_09	110
Figura 24. Pesos desde la capa oculta N° 1 hasta la capa oculta N° 2 de la Red Neuronal_09	110

Figura 25. Pesos desde la capa oculta N° 2 hacia la capa de salida de la Red Neuronal_09	111
Figura 26. Sesgos de la capa oculta N° 1 de la Red Neuronal_09	111
Figura 27. Sesgos de la capa oculta N° 2 de la Red Neuronal_09	112
Figura 28. Sesgo de la capa de salida de la Red Neuronal_09	112
Figura 29. Comparación de las resistencias a la compresión del concreto reales con las pronosticadas mediante la Red Neuronal_09	113
Figura 30. Proceso de simulación de la resistencia a la compresión de las probetas.....	118
Figura 31. Resistencia a la compresión del concreto estimadas mediante la red neuronal_09	118
Figura 32. Comparación gráfica de las $f'c$ estimados por la Red_Neuronal_09 y los $f'c$ reales	122
Figura 33. Correlación lineal entre el $f'c$ determinado en el ensayo de la máquina de compresión y el estimado por la Red_Neuronal_09.....	123
Figura 34. Arquitectura de la Red_Neuronal_01	141
Figura 35. Entrenamiento de la Red_Neuronal_01	142
Figura 36. Evolución del error en función del número de iteraciones de la Red_Neuronal_01	143
Figura 37. Correlación lineal en la Red_Neuronal_01	143
Figura 38. Pesos desde la capa de entrada hacia la capa oculta de la Red_Neuronal_01 .	144
Figura 39. Pesos desde la capa oculta hacia la capa de salida de la Red_Neuronal_01	144
Figura 40. Sesgos de la capa oculta de la Red_Neuronal_01	145
Figura 41. Sesgos de la capa de salida de la Red_Neuronal_01	145
Figura 42. Comparación de las resistencias a la compresión del concreto reales con las pronosticadas mediante la Red_Neuronal_01	146
Figura 43. Arquitectura de la Red Neuronal_02Arquitectura de la Red Neuronal_02	147
Figura 44. Entrenamiento de la Red_Neuronal_02.....	148
Figura 45. Evolución del error en función del número de iteraciones de la Red_Neuronal_02	149
Figura 46. Regresión para los datos de entrenamiento, validación, test y total de datos con la Red_Neuronal_02	149

Figura 47. Pesos desde la capa de entrada hacia la capa oculta de la Red_Neuronal_02 .	150
Figura 48. Pesos desde la capa oculta hacia la capa de salida de la Red_Neuronal_02....	150
Figura 49. Sesgos de la capa oculta de la Red_Neuronal_02	151
Figura 50. Sesgos de la capa de salida de la Red_Neuronal_02	151
Figura 51. Comparación de las resistencias a la compresión del concreto reales con las pronosticadas mediante la Red_Neuronal_02	152
Figura 52. Arquitectura de la Red_Neuronal_03	153
Figura 53. Entrenamiento de la Red_Neuronal_03	154
Figura 54. Evolución del error en función del número de iteraciones de la Red_Neuronal_03	155
Figura 55. Regresión para los datos de entrenamiento, validación, test y total de datos con la Red_Neuronal_03	155
Figura 56. Pesos desde la capa de entrada hacia la capa oculta de la Red_Neuronal_03 .	156
Figura 57. Pesos desde la capa oculta hacia la capa de salida de la Red_Neuronal_03....	156
Figura 58. Sesgos de la capa oculta de la Red_Neuronal_03	157
Figura 59. Sesgos de la capa de salida de la Red_Neuronal_03	157
Figura 60. Comparación de las resistencias a la compresión del concreto reales con las pronosticadas mediante la Red_Neuronal_03	158
Figura 61. Arquitectura de la Red_Neuronal_04	159
Figura 62. Entrenamiento de la Red_Neuronal_04	160
Figura 63. Evolución del error en función del número de iteraciones de la Red_Neuronal_04	161
Figura 64. Regresión para los datos de entrenamiento, validación, test y total de datos con la Red_Neuronal_04	161
Figura 65. Pesos desde la capa de entrada hacia la capa oculta de la Red_Neuronal_04 .	162
Figura 66. Pesos desde la capa oculta hacia la capa de salida de la Red_Neuronal_04....	162
Figura 67. Sesgo de la capa oculta de la Red_Neuronal_04.....	163
Figura 68. Sesgos de la capa de salida de la Red_Neuronal_04	163
Figura 69. Comparación de las resistencias a la compresión del concreto reales con las pronosticadas mediante la Red_Neuronal_04	164
Figura 70. Arquitectura de la Red_Neuronal_05	165

Figura 71. Entrenamiento de la Red_Neuronal_05	166
Figura 72. Evolución del error en función del número de iteraciones de la Red_Neuronal_05	167
Figura 73. Regresión para los datos de entrenamiento, validación, test y total de datos con la Red_Neuronal_05	167
Figura 74. Pesos desde la capa de entrada hacia la capa oculta de la Red_Neuronal_05 .	168
Figura 75. Pesos desde la capa oculta hacia la capa de salida de la Red_Neuronal_05....	168
Figura 76. Sesgos de la capa oculta de la Red_Neuronal_05	169
Figura 77. Sesgos de la capa de salida de la Red_Neuronal_05	169
Figura 78. Comparación de las resistencias a la compresión del concreto reales con las pronosticadas mediante la Red_Neuronal_05	170
Figura 79. Arquitectura de la Red_Neuronal_06	171
Figura 80. Entrenamiento de la Red_Neuronal_06	172
Figura 81. Evolución del error en función del número de iteraciones de la Red_Neuronal_06	173
Figura 82. Regresión para los datos de entrenamiento, validación, test y total de datos con la Red_Neuronal_06	173
Figura 83. Pesos desde la capa de entrada hacia la capa oculta de la Red_Neuronal_06 .	174
Figura 84. Pesos desde la capa oculta hacia la capa de salida de la Red_Neuronal_06....	174
Figura 85. Sesgos de la capa oculta de la Red_Neuronal_06	175
Figura 86. Sesgos de la capa de salida de la Red_Neuronal_06.....	175
Figura 87. Comparación de las resistencias a la compresión del concreto reales con las pronosticadas mediante la Red_Neuronal_06	176
Figura 88. Arquitectura de la Red_Neuronal_07	177
Figura 89. Entrenamiento de la Red_Neuronal_07	178
Figura 90. Evolución del error en función del número de iteraciones de la Red_Neuronal_07	179
Figura 91. Regresión para los datos de entrenamiento, validación, test y total de datos con la Red_Neuronal_07	179
Figura 92. Pesos desde la capa de entrada hacia la capa oculta 1 de la Red_Neuronal_07	180

Figura 93. Pesos desde la capa oculta 1 hacia la capa oculta 2 de la Red_Neuronal_07 ..	180
Figura 94. Pesos desde la capa oculta 2 hacia la capa de salida de la Red_Neuronal_07..	181
Figura 95. Sesgos de la capa oculta 1 de la Red_Neuronal_07	181
Figura 96. Sesgos de la capa oculta 2 de la Red_Neuronal_07	182
Figura 97. Sesgos de la capa de salida de la red_Neuronal_07	182
Figura 98. Comparación de las resistencias a la compresión del concreto reales con las pronosticadas mediante la Red_Neuronal_07	183
Figura 99. Arquitectura de la Red_Neuronal_08	184
Figura 100. Entrenamiento de la Red_Neuronal_08	185
Figura 101. Evolución del error en función del número de iteraciones de la Red_Neuronal_08	186
Figura 102. Regresión para los datos de entrenamiento, validación, test y total de datos con la Red_Neuronal_08	186
Figura 103. Pesos desde la capa de entrada hacia la capa oculta 1 de la Red_Neuronal_08	187
Figura 104. Pesos desde la capa oculta 1 hacia la capa oculta 2 de la Red_Neuronal_08	187
Figura 105. Pesos desde la capa oculta 2 hacia la capa de salida de la Red_Neuronal_08	188
Figura 106. Sesgos de la capa oculta 1 de la Red_Neuronal_08	188
Figura 107. Sesgos de la capa oculta 2 de la Red_Neuronal_08	189
Figura 108. Sesgos de la capa de salida de la Red_Neuronal_08	189
Figura 109. Comparación de las resistencias a la compresión del concreto reales con las pronosticadas mediante la Red_Neuronal_08	190
Figura 110. Arquitectura de la Red_Neuronal_10	191
Figura 111. Entrenamiento de la Red_Neuronal_10	192
Figura 112. Evolución del error en la función del número de iteraciones de la Red_Neuronal_10	193
Figura 113. Regresión para los datos de entrenamiento, validación, test y total de datos con la Red_Neuronal_10	193
Figura 114. Pesos desde la capa de entrada hacia la capa oculta 1 de la Red_Neuronal_10	194

Figura 115. Pesos desde la capa oculta 1 hacia la capa oculta 2 de la Red_Neuronal_10	194
Figura 116. Pesos desde la capa oculta 2 hacia la capa de salida de la Red_Neuronal_10	
.....	195
Figura 117. Sesgos de la capa oculta 1 de la Red_Neuronal_10	195
Figura 118. Sesgos de la capa oculta 2 de la Red_Neuronal_10	196
Figura 119. Sesgos de la capa de salida de la Red_Neuronal_10	196
Figura 120. Comparación de las resistencias a la compresión del concreto reales con las pronosticadas mediante la Red_Neuronal_10	197
Figura 121. Curva Granulométrica del agregado fino	200
Figura 122. Curva Granulométrica del agregado grueso	202
Figura 123. Curva de Resistencia $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$	223
Figura 124. Curva de Resistencia $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$	225
Figura 125. Curva de Resistencia $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$	227
Figura 126. Curva de Resistencia $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$	229
Figura 127. Granulometría del agregado	231
Figura 128. Peso Unitario Seco del agregado fino	231
Figura 129. Peso Unitario Seco del agregado grueso	232
Figura 130. Contenido de Humedad del agregado grueso y fino	232
Figura 131. Agregados para el ensayo de Peso Especifico	233
Figura 132. Elaboración del concreto	233
Figura 133. Ensayo del Cono de Abrams	234
Figura 134. Asentamiento de la mezcla de concreto	234
Figura 135. Llenado de probetas	235
Figura 136. Curado de probetas	235
Figura 137. Preparación de probetas	236
Figura 138. Ensayo de Resistencia a la Compresión del concreto	236
Figura 139. Rotura de probetas	237
Figura 140. Registro de las resistencias a la compresión de las probetas	237
Figura 141. Registro de las resistencias a la compresión de las probetas	238
Figura 142. Tesis relacionadas con diseños de mezcla de concreto obtenidas de la biblioteca de la USS con la finalidad de elaborar una base de datos	238

Figura 143. Visita a la biblioteca de la UCV Chiclayo con la finalidad de obtener tesis relacionadas al diseño de mezcla de concreto	239
---	-----

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Desviación estándar 1	39
Ecuación 2. Desviación estándar 2.....	39
Ecuación 3. Volumen de agua.....	43
Ecuación 4. Contenido de cemento	46
Ecuación 5. Volumen de cemento	46
Ecuación 6. Peso seco del agregado grueso.....	47
Ecuación 7. Volumen del agregado grueso.....	47
Ecuación 8. Volumen del agregado fino.....	47
Ecuación 9. Peso del agregado fino.....	47
Ecuación 10. Peso del agregado grueso húmedo	48
Ecuación 11. Peso de agregado fino húmedo	48
Ecuación 12. Agua en agregado grueso.....	48
Ecuación 13. Agua en agregado fino.....	48
Ecuación 14. Agua efectiva	48
Ecuación 15. Proporciones en peso	49
Ecuación 16. Volumen del cemento	49
Ecuación 17. Volumen del agregado fino.....	49
Ecuación 18. Volumen del agregado grueso.....	49
Ecuación 19. Volumen de agua.....	49
Ecuación 20. Proporciones en volumen.....	50
Ecuación 21. Salida de una red neuronal artificial.....	53
Ecuación 22. Entrada Neta en la neurona "j" de la capa oculta	58
Ecuación 23. Salida de la neurona "j" de la capa oculta.....	59
Ecuación 24. Entrada Neta en la neurona "k" de la capa de salida	59
Ecuación 25. Salida de la neurona "k" de la capa de salida.....	59
Ecuación 26. Función de Error para el vector de entrada "p"	60

Ecuación 27. Función de Error de la red neuronal artificial	60
Ecuación 28. Variación de los pesos sinápticos.....	60
Ecuación 29. Gradiente decreciente	61
Ecuación 30. Peso modificado de la neurona de salida	62
Ecuación 31. Peso modificado de la neurona oculta	63
Ecuación 32. Función de error a minimizar	64
Ecuación 33. Gradiente de la función $E(w)$	64
Ecuación 34. Matriz Hessiana.....	64
Ecuación 35. Matriz Jacobiana	64
Ecuación 36. Algoritmo de Newton	65
Ecuación 37. Algoritmo de Newton en función del Jacobiano	65
Ecuación 38. Algoritmo de Levenberg Marquardt.....	65
Ecuación 39. Error cuadrático medio	68
Ecuación 40. Módulo de fineza.....	77
Ecuación 41. Peso Unitario Suelto y Compactado.....	78
Ecuación 42. Peso Específico del agregado fino.....	79
Ecuación 43. Porcentaje de Absorción del agregado fino	79
Ecuación 44. Peso Específico del agregado grueso	80
Ecuación 45. Porcentaje de Absorción del agregado grueso	80
Ecuación 46. Contenido de Humedad	80

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	131
ANEXO 2. MODELOS DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES	140
ANEXO 3. ENSAYO DE LOS AGREGADOS	198
ANEXO 4. DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO	208
ANEXO 5. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO ...	221
ANEXO 6. PANEL FOTOGRAFICO	230

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad Problemática:

Khademi, Jamal, Deshpande y Londhe (2016) sostiene que:

La característica fundamental del concreto endurecido es la resistencia a la compresión; esta propiedad se reconoce como un factor primordial para garantizar o asegurar la calidad del concreto (Khademi, Jamal, Deshpande, & Londhe, 2016, p.355).

Para acceder a pronosticar la resistencia a la compresión del concreto, se tendría que realizar pruebas generalizadas con la finalidad que los componentes del concreto puedan correlacionarse con la resistencia. Pero para aplicar estas distintas pruebas se necesitaría de mucho tiempo, además que son muy costosas y se requiere de una gran cantidad de materiales (Khademi, Jamal, Deshpande, & Londhe, 2016, p.355).

Por lo tanto, una solución para este problema, es utilizar modelos computacionales que necesitan de una base de datos como por ejemplo las redes neuronales artificiales y la regresión lineal múltiple, esto en reemplazo de las extensas pruebas mencionadas anteriormente (Khademi, Jamal, Deshpande, & Londhe, 2016, p.355).

Los científicos han empleado modelos computacionales en el campo de la ingeniería civil que se basan en un conjunto de datos, específicamente, las redes neuronales artificiales, estas son capaces de estimar la corrosión del concreto en las alcantarillas, así como también predecir la densidad de corriente del hormigón armado.

En la actualidad, se sabe que la conducta que adopta la resistencia a la compresión del concreto cambia, dependiendo de las circunstancias ambientales en que se halle expuesto (Medina y Quispe, 2017).

Predecir de manera errónea la resistencia a la compresión del concreto puede ocasionar resultados peligrosos en un proyecto, como por ejemplo lo sucedido con el caso de la edificación en Fairfax (Aspilcueta, 2015).

El día 2 de marzo del año 1973, en la ciudad de Fairfax, condado de Virginia, se estuvo construyendo un edificio, en el cual la losa padeció un derrumbe continuo. Este desastre dejó como saldo 14 obreros muertos y 34 heridos (Aguilar, Rodríguez y Sermeño, 2009, p.20).

Aguilar, Rodríguez y Sermeño (2009) refiere que debido a este problema se pidió a un grupo de profesionales en ingeniería forense, definir las causas técnicas del colapso del edificio. Ellos llegaron a la conclusión que las causas más probables para que este desastre ocurriera fue

inicialmente el retiro apresurado de los elementos (puntales) que soportaban a esa losa, lo que trajo como consecuencia esfuerzos superiores a los permitidos en dicho elemento. Otra de las posibles causas fue la demora en el procedimiento del curado de la losa, lo que produce que la resistencia del concreto en ese elemento sea inferior a la facilitada por los especímenes de control. (Aguilar, Rodríguez y Sermeño, 2009, p.20)

Este hecho dio inicio a investigar un procedimiento que posibilite predecir la resistencia del concreto in situ y que considere las circunstancias de curado a las que se encuentre expuesto. La metodología a utilizar fue el de "madurez del concreto" que se fundamenta en tres premisas básicas:

(1) el humedecimiento del cemento conlleva a la resistencia del concreto; (2) el humedecimiento del cemento causa altas temperaturas; y (3) si el calor se puede cuantificar, como consecuencia se puede hacer una estimación de la magnitud de la reacción de la hidratación, esto da origen a predecir la resistencia del concreto (Aguilar, Rodríguez y Sermeño, 2009, p.21).

El método de madurez del concreto es un buen indicador para pronosticar la resistencia a la compresión del concreto en campo, pero tiene limitaciones. Aspilcueta (2015) afirma:

El concreto debe permanecer expuesto a condiciones que faciliten el humedecimiento del cemento; las consecuencias que provoque la temperatura del concreto en edades tempranas no son tomadas en cuenta en este método, por lo tanto, no afectan la resistencia última (p.56).

En Uruguay Rudeli y Santilli (2017) sostienen que:

El proceso constructivo de todas las obras civiles requiere que sea necesario que el hormigón fresco adopte una forma específica o deseada, para lograr tal propósito se utilizan elementos temporales llamados encofrados. Estas estructuras casi siempre son alquiladas, y representan uno de los mayores costos en el proceso de construcción. Hanna y Senouci (1997) establecen que el costo del encofrado puede ascender hasta el 60% del costo de una construcción, dato reafirmado recientemente por Kopczynski (2008). Hurd (2005) establece que la calidad, la seguridad y la economía son tres puntos importantes al momento de evaluar un encofrado. (Rudeli y Santilli, 2017, p.1).

La seguridad hace referencia a que el elemento pueda aguantar todas las cargas a las que se verá expuesto. La calidad es la cualidad del encofrado, de ofrecer al elemento estructural la posición, forma y terminación especificada en los planos, y la economía hace referencia a que

en el proceso de llenado y desencofrado de una estructura, se debe ahorrar dinero y tiempo. Una estructura corre el riesgo que su funcionalidad y estabilidad sean afectadas como consecuencia de algunos fallos, lo que perjudicaría directamente la seguridad, esto como consecuencia del retiro prematuro o temprano de los encofrados verticales. Opuesto a lo antes mencionado, quitar los encofrados de manera tardía ocasionará a la empresa constructora elevados sobrecostos, esto debido al crecimiento en los costos del arrendamiento de los encofrados, además por que funcionan como un capital estancado, generando retrasos en el cronograma de obra (Rudeli y Santilli, 2017, p.2).

Ante el problema mencionado, se requiere conseguir un instrumento que mida cuanto es lo que resiste el concreto a la compresión y que determine el mejor ajuste a las curvas de resistencia – maduración con la finalidad de conseguir tiempos inferiores de desencofrado de estructuras verticales de concreto y con el mayor rango de fiabilidad.

En Cajamarca, Díaz (2017) afirma:

Con el pasar del tiempo la resistencia a la compresión aumenta. Se sabe que a los siete días se alcanza el 70% al 75 % de la resistencia a los 28 días y que entre los 56 y 90 días se alcanza una resistencia de 10% a 15% superior a las logradas a los 28 días (p.1).

Para establecer una medida que nos sirva como referencia, se toma como indicador la resistencia obtenido mediante el ensayo en la máquina de compresión a los 28 días. Con estos resultados se planea la operación de desencofrado, pronosticar la resistencia del concreto en elementos, etc. Como se sabe estos resultados no son inmediatos , es por ello que resulta necesario contar con procedimiento confiable que nos permita pronosticar dicha resistencia, tomando como base las características de fabricación, y ahorrar así el tiempo de espera para el realizamiento del ensayo (Díaz, 2017, p.1).

Esta problemática crea la necesidad de utilizar las redes neuronales artificiales para pronosticar la resistencia que tiene el concreto ante fuerzas de compresión que lo afectan, que por medio de un conjunto de procedimientos informáticos realiza funciones de aprendizaje y autocorreccion, esto por medio de codigos de programación o algoritmos computacionales buscando asi, resolver muchos problemas (Díaz, 2017, p.1).

En Chiclayo, en el trabajo de investigación que tiene por título “Evaluación de la calidad del hormigón en viviendas autoconstruidas en el distrito de José Leonardo Ortiz, Chiclayo, Lambayeque, Perú”, Granda, Vela, y Borja, (2014) sostienen que:

En la ciudad de Chiclayo, en el distrito de Jose Leonardo Ortiz para realizar un estudio de la vulnerabilidad sísmica de las casas edificadas en los sectores urbano marginales, se han tomado muestras de concreto usadas para el llenado de elementos estructurales como techo, columnas y cimentaciones, sacadas de diversas obras, en el transcurso de los meses de enero y febrero del 2013. En las obras visitadas, se procedió a determinar el asentamiento de las mezclas, y se tomaron muestras en recipientes cilíndricos para ser evaluados en el ensayo con la máquina de compresión, esto con la finalidad de medir la calidad del concreto en las casas autoconstruidas en dicho distrito y además poder verificar que las resistencias de las estructuras puedan llegar a pasar el la resistencia mínima que pide la Norma Técnica. El procedimiento empleado se basó en visitar las casas en construcción en el distrito de Jose Leonardo Ortiz , y obtener 3 muestras de concreto fresco (dos curadas y una sin curar), posterior a romperlas a los 28 días. En total se han visitado 35 casas en construcción (Granda, Vela, y Borja, 2014).

Los resultados que se obtuvieron fueron demasiado preocupantes, todas las viviendas no alcanzaron la resistencia mínima que pide la Norma Técnica, y solo alcanzaron una resistencia promedio a la compresión de 94.81 kg/cm^2 a los 28 días en testigos curados y alcanzaron una resistencia de 64.01 kg/cm^2 en testigos sin curado (Granda, Vela, y Borja, 2014).

Muchos de los trabajos de construcción realizados de manera informal en el departamento de Lambayeque no realizan entre otros ensayos el de la máquina de compresión, esto debido en parte al costo que genera la aplicación de este ensayo, como consecuencia se realiza la búsqueda de otras metodologías para poder estimar este valor.

1.2. Trabajos Previos:

1.2.1. A Nivel Internacional:

Tafur y Viracucha (2018) en su investigación realizada para obtener el título de ingeniero civil en la Universidad Central de Ecuador, en la ciudad de Quito, que tiene como título “Modelo de predicción de la resistencia a la compresión del hormigón con fibras naturales utilizando redes neuronales artificiales” propusieron:

Diseñar diversas dosificaciones para dar como resultado una resistencia del concreto ante la compresión de 21 MPa y 28 MPa empleando agregados derivados de las canteras de la zona. A estos se les agrega diversas clases de fibras artificiales y naturales en variadas cantidades, como por ejemplo el algodón, cabuya, coco, nylon y el poliéster, para posteriormente mediante los

ensayos de testigos cilíndricos calcular la resistencia que el concreto puede soportar ante efectos de compresión durante 7, 14 y 28 días (Tafur y Viracucha, 2018, p.23).

Luego, se procedió a utilizar el método de Montoya-Meseguer-Moran con los datos obtenidos de las resistencias de las probetas ensayados a las diferentes edades, los resultados se usaron como datos de salida en el diseño del modelo de simulación. En esta investigación se utilizó como datos de entrada la dosificación de ripio y arena, relación agua- cemento, densidad de la fibra y porcentaje de adición de la fibra, los cuales sirvieron para la elaboración del modelo de estimación de la resistencia a la compresión simple del concreto empleando una red neuronal artificial. Finalmente utilizaron 384 muestras, de las cuales usaron 370 como datos de entrenamiento y 14 muestras como datos de validación, los errores obtenidos para los datos de entrenamiento fueron de 32,08 Kg/cm² y para los datos de validación fueron de 35,61 Kg/cm² (Tafur y Viracucha, 2018, p.23).

Builes y Pardo (2016) en su investigación realizada para obtener el título de ingeniero civil en la Universidad Católica de Colombia, en la ciudad de Bogotá, que tiene como título “Correlación entre las resistencias obtenidas mediante ensayos de compresión y esclerometría en cilindros de concreto normal y modificados con fibra sintética y fibra de acero” propusieron que:

Debido al progreso del sector construcción, y la necesidad de minimizar tiempos y materiales, se recomendó utilizar el ensayo de esclerometría con la finalidad de calcular la resistencia, esto sin causar la destrucción de las probetas, y hacer fácil el obtener resultados en campo, permitiendo la ejecución de proyectos de construcción con rapidez (Builes y Pardo, 2016, p.16).

El objetivo del proyecto de Builes y Pardo (2016) fue verificar la eficiencia del ensayo de esclerometría y mostrar los beneficios que tiene, en comparación con el ensayo con la máquina de compresión, para lograr esto, se busca realizar una correlación entre los resultados conseguidos a través del ensayo de esclerometría y el ensayo a la compresión del concreto (Builes y Pardo, 2016, p16).

Para realizar los ensayos en el laboratorio, Builes y Pardo (2016) extrajeron 10 muestras de cada clase de concreto (concreto con fibra de acero, concreto convencional y concreto con fibra de polipropileno) de tal forma que a cada probeta se le efectuaron los ensayos de esclerometría y ensayo con la máquina de compresión. Luego se busca una correlación y calcular la ecuación

que presente un mejor R^2 , con respecto a los resultados conseguidos en los ensayos mencionados (Builes y Pardo, 2016, p16).

Builes y Pardo (2016) concluyeron que, al comparar los resultados conseguidos con el ensayo con la maquina de compresion, y los determinados mediante las ecuaciones de correlacion, se puede inferir que los resultados logrados por la metodologia usada en su trabajo de investigacion se puede aplicar a los proyectos de contruccion, teniendo en cuenta realizar algunas modificaciones en campo (Builes y Pardo, 2016, p.106).

Linares (2018) en su investigación realizada para obtener el título de ingeniero civil en la Universidad de Chile, en la ciudad de Santiago de Chile, que tiene como título “Determinación de resistencia temprana de hormigón proyectado: correlación entre método normado un-en14488-2 y método alternativo” propusieron:

Calcular la correlacion existente entre el método normado y el método alternativo “Method Statement Shotcrete Testing”, esto con la finalidad de ver el comportamiento en el intervalo 1.2 y 3 Mpa, que es donde el método normado no consigue resultados de los ensayos realizados (Linares, 2018, p.3).

Para realizar este trabajo de investigacion, se emplearon 1500 ensayos aproximadamente de resultados reales de tuelles de proyectos civiles. Estos resultados conseguidos se utilizaron para determinar las resistencia tempranas a compresion, mediante el metodo normado y el alternativo, esto con la finalidad de plantear una relacion estadistica entre ellos. El objetivo para Linares (2018) es establecer una correlacion con los dos metodos propuestos por el, y predecir de forma correcta la resistencia a la compresion temprana (Linares, 2018, p.3).

Linares (2018), estudia la resistencia mecanica de los dos metodos, esto mediante procedimientos estadisticos, como regresion lineal y el coeficiente de Paerson, ademas predice el coeficiente de regresion entre los dos metodos, asi como estudiar el rango en que oscilan los valores (Linares, 2018, p.3).

1.2.2. A Nivel Nacional:

Gonzales (2018) en su investigación realizada para obtener el título de ingeniero civil realizada en la Universidad Nacional de Huancavelica, que tiene como título “Análisis de la resistencia del concreto mediante redes neuronales haciendo uso del agregado de la cantera Santa Rosa Huancavelica” mencionó que:

Elaboró 79 especímenes de concreto con variados diseños de mezcla, rompiendo las probetas en la máquina de compresión a los 7, 14 y 28 días de curado según la norma E-060 (2009), ASTM C-39 y NTP 339.034.2008, obteniendo resistencias de compresión que varían entre 70 y 390 kg/cm² (Gonzales, 2018, p.6).

El modelo de red Neuronal propuesto estuvo conformado por 11 variables de entrada (cantidad de cemento, cantidad de agua, cantidad de agregado fino, humedad del agregado fino, absorción del agregado fino, porcentaje que pasa la malla Nro. 4 de agregado fino, cantidad de agregado grueso, humedad del agregado grueso, absorción del agregado grueso, porcentaje que pasa la malla Nro. 4 de agregado grueso, tamaño máximo de los agregados, el tiempo de curado del concreto) y una variable de salida (resistencia a la compresión axial del concreto). (Gonzales, 2018, p.6)

Gonzales (2018) obtiene como resultados de su trabajo de investigación a través del análisis estadístico un error cuadrático medio (R^2) de 0.99113; donde R es el coeficiente de correlación de Pearson, concluyendo que la predicción tiene un error inferior 1 %, por lo tanto es eficiente para pronosticar la resistencia a la compresión (Gonzales, 2018, p.6).

Rumiche (2018) en su investigación realizada para obtener el título de ingeniero civil realizada en la Universidad Nacional Federico Villarreal, que tiene como título “implementación del procedimiento del método de madurez del concreto (norma ASTM C 1074) para calcular la resistencia a la compresión con apoyo de equipos electrónicos” propone:

Diseñar un equipo que sea capaz de determinar la madurez del concreto, según el ASTM C1074 y la NTP 339.217, para establecer la resistencia del concreto desde las horas iniciales, de producirse el vaciado. Este proceso ayudado por el empleo de un equipo electrónico, tiene muchos beneficios para establecer un plan en el programa de una construcción (Rumiche, 2018, p.4).

Rumiche (2018), propone un conjunto de procedimientos matemáticos para establecer una correlación, donde la variable más importante es la temperatura en el tiempo del concreto. Los equipos electrónicos son de gran ayuda en el proceso, ya que son una ventaja en el desarrollo del método de madurez, pues eliminan la dificultad que representa el interrumpimiento de la temperatura del concreto (Rumiche, 2018, p.4).

Rumiche, concluye que la preparación de los sensores de temperatura, relojes digitales calibrados y placas genéricas programables para realizar el método de madurez, fue un éxito,

cumplió con la prueba de 24 horas, la de 3 días y la de 7 días, para luego realizar una prueba ininterrumpida de 35 días, los equipos implementados pudieron cumplir con el censado ininterrumpido. (Rumiche, 2018, p.83)

Aspilcueta (2015) en su investigación realizada para obtener el título de ingeniero civil realizada en la Universidad Nacional de Ingeniería, que tiene como título “Análisis comparativo de la resistencia a la compresión del concreto estimada a partir de la utilización del método de madurez” propone:

Analizar y comparar la resistencia del concreto ante la compresión, pronosticada mediante el método de madurez. Esta resistencia en estructuras de concreto es una variable importante que nos facilita saber cuando un concreto podrá resistir o soportar sobrecargas en el futuro (Aspilcueta, 2015, p.6).

Una particularidad de los resultados que se obtuvieron fue la minimización del tiempo en las acciones de los procesos constructivos, como por ejemplo al desenoformar, al tensar y reapuntalar (Aspilcueta, 2015, p.7).

Aspilcueta afirma que, al ejecutar el método de madurez, los resultados arrojan una fuerte correlación, de la resistencia que ofrece el concreto ante la compresión y las variables del método de madurez, donde la desviación estándar es igual a 5.4% y un parámetro de correlación de 0.977. Caso contrario pasa para otros métodos como el ensayo del número de rebote (ASTM e 805 - NTP 339.181) y el ensayo de la velocidad de pulso (ASTM e 597 - NTP 339.237), en ambos ensayos no se registraron resultados iguales (Aspilcueta, 2015, p.7).

Aspilcueta concluye que la razón fundamental por la que el método de madurez estima mejores resultados, es a consecuencia que la resistencia a la compresión depende generalmente de las altas temperaturas que se generan a causa de las reacciones interiores que se dan entre el agua y el cemento (Aspilcueta, 2015, p.132).

1.2.3. A Nivel Local:

No se han encontrados estudios relacionados con la determinación de resistencia a la compresión del concreto.

1.3. Teorías Relacionadas al Tema:

1.3.1. El Concreto:

El concreto es una combinación del cemento Portland, con agua, agregados fino y grueso en cantidades apropiadas para conseguir características solicitadas de acuerdo a las especificaciones técnicas (Abanto, 2009, p.11).

El cemento y el agua conforman un material heterogéneo que responden químicamente juntando las partículas de los componentes del concreto. En algunos casos se debe de agregar sustancias específicas, que tienen por nombre aditivos, cuya función es la de desarrollar o aumentar ciertas propiedades del concreto (Abanto, 2009, p.11).

El concreto fresco requiere de ciertas propiedades que dependen del tipo de construcción, las circunstancias climáticas del lugar, tiempo, costos de ejecución, por los procedimientos de transporte y colocación; por otro lado, el concreto endurecido tiene propiedades que están determinadas por el estructuralista.

1.3.2. Cemento:

El cemento al ser un elemento cohesivo, genera características adherentes y aglutinantes, que traen como consecuencia la unión de trozos minerales uno con otro, dando como resultado un solo componente (ASOCRETO, 2010, p.19).

Los cementos Portland, se elaboran en 6 tipos de cementos:

Tipo I: Es usado en obras en que el concreto no necesite propiedades especiales.

Tipo II: Es usado en obras de concreto en general, y de forma particular si se requiere una mesurada temperatura de hidratación y equilibrada oposición a los sulfatos.

Tipo III: Es el cemento para ser empleado cuando se requiere elevadas resistencias iniciales; su resistencia en 3 días es igual a la resistencia adoptada en 28 días por los cementos tipo I y II.

Tipo IV: Para ser empleado cuando se quiere una mínimo temperatura de hidratación.

Tipo V: Es empleado cuando se requiere una elevada oposición a los sulfatos.

1.3.3. Agregados:

Los agregados son elementos inertes que al juntarlos con el cemento y el agua dan como resultado los morteros y concretos. Los agregados son esenciales en el concreto, puesto que ellos representan aproximadamente el 75% del volumen total de la mezcla (Abanto, 2009, p.23).

Es fundamental que los agregados esten libres de sustancias extrañas como limo, lodo y elementos organicos que puedan afectar o desgastar el vinculo con la pasta de cemento, es por ello que se requiere que los agregados tengan una elevada resistencia y durabilidad (Abanto, 2009, p.23).

1.3.3.1. Agregado Fino:

El agregado fino, usualmente es la arena, se origina como consecuencia de la descomposición de las rocas. En el ensayo de granulometría el agregado fino pasa el tamiz 3/8" y queda atrapado en la malla N°200 (Gonzales, 2017, p.36).

A. Granulometría:

La granulometría es la repartición por dimensión de las partículas de arena. Los tamices normalizados empleados para el agregado fino son las N° 4, 8, 16, 30, 50 y 100. (Abanto, 2009, p.24)

Los requisitos que debe de cumplir el agregado fino son los siguientes:

Tabla 1.

Granulometría del agregado fino

Tamiz	Porcentaje que pasa
9,5 mm (3/8 pulg)	100
4,75 mm (No. 4)	95 a 100
2,36 mm (No. 8)	80 a 100
1,18 mm (No. 16)	50 a 85
600 µm (No. 30)	25 a 60
300 µm (No. 50)	05 a 30
150 µm (No. 100)	0 a 10

Fuente: NTP 400.037, 2014, p.8

Durante los procesos de mezclado y colocación es necesario que las particulas del agregado grueso esten distanciadas, de forma que logren desplazarse unas de otras sin ningun inconveniente, lo que causará que la mezcla tenga una correcta trabajabilidad y para lograr esto es fundamental el agregado fino, puesto que interviene como lubricante del agregado grueso, permitiendole una correcta repartición en toda el area de trabajo (Abanto, 2009, p.25).

B. Requisitos de uso:

Abanto (2009) sugiere que las partículas extrañas al agregado fino, no superen los porcentajes máximos que se detallan a continuación.

1 °) Partículas deleznales:3%,

2°) Material más fino que la malla N° 200: 5%. (p.26)

1.3.3.2. Agregado Grueso:

Es aquella que queda retenida en la malla N°4 (Gonzales, 2017, p.37).

El agregado grueso es de 2 tipos:

Grava: conocidos como canto rodado, es la agrupacion de pequeñas partes de piedra, derivdas de la descomposicion natural de las rocas, por efecto del hielo y otros elementos climatológicos. Se le halla en canteras y lechos de rios y su peso varía desde 8de 1600 hasta 1700 kg/m³ (Abanto, 2009, p.26).

Piedra partida o chancada: es el agregado resultante de la trituracion artificial de las rocas o gravas. Cualquier tipo de piedra partida se puede utilizar como agregado grueso, solo hay que verificar que sea limpia, resistente y dura. La piedra chncada pesa en un intervalo de 1450 a 1500 kg/m³ (Abanto, 2009, p.26).

A. Granulometría:

La NTP 400.037 establece que el agregado grueso debe estar graduado dentro de los límites que se presentan en la tabla siguiente:

Tabla 2.*Requisitos granulométricos del agregado grueso*

Huso	Tamaño máximo nominal	Porcentaje que pasa por los tamices normalizados													
		100 mm (4 pulg)	90 mm (3½pulg)	75 mm (3 pulg)	63 mm (2½pulg)	50 mm (2 pulg)	37,5 mm (1½pulg)	25,0mm (1 pulg)	19,0 mm (¾pulg)	12,5 mm (½pulg)	9,5 mm (¾pulg)	4,75mm (No. 4)	2,36mm (No. 8)	1,18mm (No. 16)	300 µm (No.50)
1	90 mm a 37,5mm (3 ½ pulg a 1 ½ pulg)	100	90 a 100		25 a 60		0 a 15		0 a 5						
2	63 mm a 37,5 mm (2 ½ pulg a 1 ½ pulg)			100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 5						
3	50 mm a 25,0 mm (2 pulg a 1 pulg)				100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 5					
357	50 mm a 4,75 mm (2 pulg a No. 4)				100	95 a 100		35 a 70		10 a 30		0 a 5			
4	37,5 mm a 19,0 mm (1 ½ pulg a ¾ pulg)					100	90 a 100	20 a 55	0 a 5		0 a 5				
467	37,5 mm a 4,75 mm (1 ½ pulg a No. 4)					100	95 a 100		35 a 70		10 a 30	0 a 5			
5	25,0 mm a 12,5mm (1 pulg a ½ pulg)						100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5				
56	25,0 mm a 9,5 mm (1 pulg a ¾ pulg)						100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5			
57	25,0 mm a 4,75mm (1 pulg a No. 4)						100	95 a 100		25 a 60		0 a 10	0 a 5		
6	19,0 mm a 9,5 mm (¾ pulg a ¾ pulg)							100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5			
67	19,0 mm a 4 mm (¾ pulg a No. 4)							100	90 a 100		20 a 55	0 a 10	0 a 5		
7	12,5 mm a 4,75 mm (½ pulg a No. 4)								100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5		
8	9,5 mm a 2,36 mm (¾ pulg a No. 8)									100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	
89	12,5 mm a 9,5 mm (½ pulg a ¾ pulg)									100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5
9 ^A	4,75 mm a 1,18 mm (No. 4 a No. 16)										100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5

Fuente: NTP 400.037, 2014, p.13

B. Tamaño máximo:

El tamaño máximo del agregado grueso nunca debe ser mayor que: la quinta parte de la mínima medida, entre las caras del encofrado. La tercera parte de la altura de las losas. Las tres cuartas partes del espaciamiento libre entre barras o los alambres de refuerzo (Abanto, 2009, p.27).

1.3.4. Agua

El agua es un elemento importante en la elaboración del concreto, el cual influye altamente en las características del concreto, como por ejemplo la trabajabilidad y la resistencia (Abanto, 2009, p.21).

El agua para ser considerada apta en la elaboración del concreto es necesario que cumpla con las condiciones de la N.T.P.339.088.2014, aunque generalmente cualquiera de las aguas natural que sea potable y que no presente olor o sabor notorio, es empleada en la elaboración de concreto (Gonzales, 2018, p.13).

1.3.5. Propiedades del concreto

1.3.5.1. Trabajabilidad

Al hablar de trabajabilidad nos referimos a que tan fácil puede ser mezclado, colocado, compactado y acabado un concreto en condición fresca, es decir que este libre de segregación y exudación mientras se lleve a cabo estas acciones. Hasta el momento no se ha definido alguna prueba o ensayo que cuantifique la trabajabilidad (Abanto, 2009, p.47).

1.3.5.2. Consistencia

La consistencia del concreto fresco depende del nivel de hidratación de la mezcla, esta se ve afectada fundamentalmente por la cantidad de agua usada (Abanto, 2009, p.47).

1.3.5.2.1. Ensayo de consistencia del concreto

A. Método

Tiene como objetivo medir el asentamiento de la mezcla luego de levantar el molde troncoconico y ver cuanto es lo que ha descendido la mezcla desde su altura inicial. La conducta del concreto en el ensayo nos señala su consistencia, es decir su cualidad para acomodarse al encofrado o molde sin ningún problema (Abanto, 2009, p.47).

B. Equipo

Se utiliza un cono truncado de acero galvanizado de grosor mínimo de 0.15 cm, las base mayor y menor tienen radios que miden 10 cm y 5 cm respectivamente y la altura de cono es de 30 cm, además a sus costados tiene asas que permite levantarla con facilidad (Abanto, 2009, p.48).

La compactación del concreto se realiza mediante el uso de una barra de acero liso de 60 cm de largo, de punta semiesférica y un diámetro de 5/8" (Abanto, 2009, p.48).

C. Procedimiento

Sobre una superficie lisa y húmeda se estaciona el molde, teniendo mucho cuidado que no se mueva. A continuación, se introduce una capa de mezcla de concreto hasta un tercio de la capacidad total del molde y se apisona con una varilla, ingresándola de forma vertical 25 veces de manera uniforme sobre la mezcla (Abanto, 2009, p.48).

Luego se colocan las otras dos capas restantes de concreto y el procedimiento es el mismo que el paso anterior (Abanto, 2009, p.48).

Se llena de forma excesiva la tercera capa de concreto, para después pasarle la varilla por la parte de arriba del molde y eliminar el excedente de mezcla y quede al ras. Y por último levantar el molde de manera lenta y lo más vertical posible (Abanto, 2009, p.48).

Luego se medirá con una wincha la diferencia entre la altura de la mezcla fresca y la altura del molde (Abanto, 2009, p.49).

1.3.5.2.2. Clases de mezclas según su asentamiento

Tabla 3.

Consistencia/asentamiento

CONSISTENCIA	SLUMP	TRABAJABILIDAD	METODO DE COMPACACION
Seca	0 a 2 cm	Poco trabajable	Vibración normal
Plástica	3 a 4 cm	Trabajable	Vibración ligera chuseado
Fluida	> 5 cm	Muy trabajable	Chuseado

Fuente: Abanto, 2009, p.49

1.3.5.3. Segregación

La segregación es un fenómeno que hace que el mortero se separe del agregado grueso. Este es un problema que perjudica el llenado de los elementos estructurales, causando capas arenosas, cangrejeras, etc. (Abanto, 2009, p.50).

Siempre hay que tener en cuenta el problema de segregación en el proceso de diseño de mezcla, pudiendo contrarrestar esto con el aumento de agregado fino o cemento y de la consistencia de la mezcla (Abanto, 2009, p.50).

1.3.5.4. Resistencia

La resistencia que ofrece el concreto no permite medirse en estado plástico, en consecuencia lo que se hace para poder saber la resistencia del concreto es tomar muestras en el proceso de mezclado y elaborar probetas, para que luego de ser curadas se sometan al ensayo de compresión del concreto utilizando la prensa (Abanto, 2009, p.50).

1.3.5.5. Exudación

Como efecto de la sedimentación de los sólidos, una porción de agua comienza a ascender hacia la superficie, a este fenómeno se le llama exudación (Abanto, 2009, p.54).

La exudación es consecuencia de una defectuosa dosificación, también puede ser por un excesivo uso del agua en la mezcla, del empleo de aditivos, además de la temperatura, puesto que, a un aumento de calor, más rápido es el proceso de exudación (Abanto, 2009, p.54)

1.3.5.6. Durabilidad

Es una característica del concreto que lo hace resistir la interperie del medio ambiente, exposición a elementos químicos y desgaste, a los que se encontrará sometido. La mayoría de daños causados por la interperie al concreto son producidos por los ciclos de congelamiento y descongelación. Para poder mejorar la resistencia del concreto una medida como solución es aumentar la impermeabilidad, esto mediante la inclusión de 2% a 6% de aire con un agente inclusor de aire, o mediante un recubrimiento que sirve de protección de la superficie (Abanto, 2009, p.57).

1.3.5.7. Impermeabilidad

La impermeabilidad es una propiedad fundamental del concreto, que se mejora, realizando una reducción de la cantidad de agua en la mezcla. Una mezcla con exceso de agua produce la aparición de vacíos posterior a la evaporación del agua, y como consecuencia el agua puede

penetrar el hormigón a través de los vacíos. Para poder evitar este problema es necesario incluir aire, además de un correcto curado durante un prolongado tiempo (Abanto, 2009, p.58).

1.3.6. Ensayo de resistencia a la compresión del concreto

A. Aparatos:

El aparato de ensayo será equipado con 2 bloques de acero con caras resistentes, una de las cuales se asentará sobre una rótula, que le permita acomodarse a la superficie superior de la probeta y el otro sobre un sólido bloque en el que se asienta la misma. (NTP, 2008, p.6)

B. Probetas

Por cada 120 m³ de mezcla de concreto elaborada o 500 m² de área llenada, se debe tener una muestra (Abanto, 2009, p.52).

Para determinar cuanto es lo que resiste el concreto a la compresión, a una edad específica, se deben elaborar 3 probetas por cada muestra, y luego sacar su promedio. Mayormente se determina la resistencia a 7 y 28 días (Abanto, 2009, p.52).

Posterior al remezclado, se comienza a llenar el molde hasta la tercera parte de su altura, y se introduce una barra de acero 25 veces de forma vertical, logrando así la compactación de esta. Este procedimiento se repite en las dos capas posteriores, y al final se agrega mezcla por exceso, y se pasa la barra de acero al ras del molde de manera que la superficie quede pareja (Abanto, 2009, p.52).

Después de 18 y 24 horas posterior al moldeo, las probetas se sacan de sus moldes, para luego meterlas en agua (Abanto, 2009, p.52).

C. Procedimiento

El ASTM C39 y la NTP 339.034 recomiendan que las probetas sean utilizadas para el ensayo tan rápido sea posible, luego de sacarlas del recipiente donde estuvieron en condición de curado. (Valencia e Ibarra, 2013, p.8).

El diámetro de la probeta se mide con el micrometro en 2 ubicaciones ortogonales entre sí, luego se saca el promedio de estas 2 medidas, resultando así el área de dicha superficie (Valencia e Ibarra, 2013, p.8).

Se debe limpiar las caras de los 2 bloques de acero, superior e inferior de la máquina de ensayo, y también las caras de las probetas, previo a colocarlas en los cabezales de la máquina (Valencia e Ibarra, 2013, p.8).

De forma uniforme y continua se aplicara la carga, hasta lograr el instante de la falla del testigo de concreto, posterior a esto, se debe apuntar el tipo de falla y la carga maxima que ha soportado el testigo previo a su rotura (Valencia e Ibarra, 2013, p.9).

Y por ultimo determinar la resistencia del concreto a la compresion efectuando la division entre la carga maxima que soporto la probeta y el area de su seccion (Valencia e Ibarra, 2013, p.9).

D. Consideraciones en el ensayo

Anotar como dato la edad del especimen de concreto a ensayar, esto es la resta entre la fecha de elaboracion del concreto y la fecha de ejecucion del ensayo (Valencia e Ibarra, 2013, p.9).

Tabla 4.

Tolerancia permisible para tiempo de curado y hora de ensayo

Edad de ensayo	Tolerancia permisible
24 h	$\pm 0,5$ h ó 2,1 %
3 d	± 2 h ó 2,8 %
7 d	± 6 h ó 3,6 %
28 d	± 20 h ó 3,0 %
90 d	± 48 h ó 2,2%

Fuente: NTP 339.034, 2008, p.11

Cuando los especímenes a ensayar sean de 6 x 12 pulgadas, se tomará como la resistencia del concreto a la compresión a la media de 2 especímenes, y si las diemnsiones son de 4 x 8 pulgadas, se tomarán 3 especímenes, y el resultado será el promedio de sus resistencias a la compresión, donde se tendrá en cuenta el porcentaje de dispersión máximo (Valencia e Ibarra, 2013, p.9).

Tabla 5.
Porcentaje de dispersión máxima

	Coeficiente de variación	Rango de aceptación de	
		2 Cil	3 Cil
Cil. de 150 mm x 300 mm			
Condic. de laborat.	2,4 %	6,6 %	7,8 %
Condic. de Obra	2,9 %	8,0 %	9,5 %
Cil. de 100 mm y 200 mm			
Condic. de laborat.	3,2 %	9,0 %	10,6 %

Fuente: NTP 339.034, 2008, p.16

1.3.7. Propiedades de los Agregados

1.3.7.1. *Peso Específico (NTP 400.012, ASTM C136)*

Es el cociente de la masa del volumen unitario de un material entre la masa de agua destilada de igual volumen, a una temperatura determinada. También se le denomina Densidad (Vásquez, 2013, p19).

1.3.7.2. *Absorción (NTP 400. O 12, ASTM C1 36)*

Es la propiedad que tienen los agregados para saturar de agua los espacios permeables en el interior de las estructuras, al ser mojados durante 24 horas. Esta característica, que necesita de la filtración, es fundamental para realizar la corrección en el diseño de mezcla del concreto. La adhesión en el cemento, la estabilidad química, la resistencia a la abrasión y la resistencia que posee el concreto ante la compresión, al congelamiento y deshielo dependen de la absorción (Vásquez, 2013, p20).

1.3.7.3. *Peso Unitario (NTP 400.017, ASTM C39)*

Es llamado también peso volumétrico y se usa para convertir cantidades en peso a cantidades en volumen y lo contrario. “Es el peso del material seco que se necesita para llenar cierto recipiente de volumen unitario (Vásquez, 2013, p20).

1.3.7.4. *Contenido de Humedad (NTP 400.010, ASTM C70)*

Es la cantidad de agua que posee el agregado en un determinado momento. Los agregados casi siempre se les halla en estado húmedo, y cambian con el paso del tiempo, motivo por el cual se debe calcular con frecuencia el contenido de humedad, para posteriormente rectificar las características de la mezcla (Vásquez, 2013, p21).

1.3.8. **Diseño de mezcla de concreto**

La secuencia del diseño de mezcla se realizará de la siguiente forma:

1.3.8.1. *Selección de la resistencia promedio (f'_{cr})*

a) Primero se calcula la desviación estándar “s”, luego se reemplaza en las ecuaciones 1 y 2 y se elige la mayor como la resistencia a la compresión promedio solicitada f'_{cr} (Laura, 2006, p.6).

$$f'_{cr} = f'_c + 1.34s$$

Ecuación 1. *Desviación estándar 1*

Fuente: Laura, 2006, p.6

$$f'_{cr} = f'_c + 2.33s - 35$$

Ecuación 2. *Desviación estándar 2*

Fuente: Laura, 2006, p.6

Donde:

S = Desviación estándar, en kg/cm²

b) Si no se conoce la desviación estándar, se empleará la tabla 6 para calcular la resistencia promedio requerida (Laura, 2006, p.6).

Tabla 6.*Resistencia a la compresión promedio*

f'_c	f'_{cr}
Menos de 210	$f'_c + 70$
210 a 350	$f'_c + 84$
Sobre 350	$f'_c + 98$

Fuente: Laura, 2006, p.6

1.3.8.2. Selección del asentamiento (Slump)

Para que el concreto adquiriera una especial consistencia de acuerdo a las especificaciones técnicas, el asentamiento se puede seleccionar de la tabla 7 (Laura, 2006, p.7).

Tabla 7.*Consistencia y Asentamientos*

Consistencia	Asentamiento
Seca	0'' (0mm) a 2'' (50mm)
Plástica	3'' (75mm) a 4'' (100mm)
Fluida	$\geq 5''$ (125mm)

Fuente: Laura, 2006, p.7

Si no se da una consistencia, ni asentamiento en las especificaciones técnicas, se puede utilizar la tabla 8, de acuerdo a la actividad que se vaya a desarrollar (Laura, 2006, p.7).

Tabla 8.*Asentamientos recomendados para varios tipos de construcción*

TIPOS DE CONSTRUCCION	REVENIMIENTO	
	MAXIMO	MINIMO
Zapatas y muros de cimentación reforzados	8	2
Zapatas simples, cajones y muros de subestructura	8	2
Vigas y muros reforzados	10	2
Columnas	10	2
Pavimentos y losas	8	2
Concreto ciclópeo y masivo	5	2

Fuente: Laura, 2006, p.7

1.3.8.3. Selección de tamaño máximo del agregado

La Norma Técnica de Edificación E.060 recomienda que el agregado grueso debe ser menor o igual a:

- a) la quinta parte de la menor dimensión entre las caras de encofrados; o
- b) la tercera parte del peralte de la losa; o
- c) las tres cuartas partes del espacio libre mínimo entre barras individuales de refuerzo, paquetes de barras, tendones o ductos de presfuerzo (Laura, 2006, p.7).

1.3.8.4. Estimación del agua de mezclado y contenido de aire

De acuerdo a las recomendaciones del Comité 211 del ACI, la tabla 9 nos facilita un aproximado de la cantidad de agua de mezclado, que necesitamos para concretos fabricados con distintas medidas maximas de agregado con o sin aire incorporado (Laura, 2006, p.8).

Tabla 9.

Requerimientos aproximados de agua de mezclado y de contenido de aire para diferentes valores de asentamiento y tamaños máximos de agregados.

Asentamiento o SLUMP (mm)	Agua en 3 lt/m de concreto para los tamaños máximos de agregados gruesos y consistencia indicados								
	10 mm (3/8")	12.5 mm (1/2")	20 mm (3/4")	25 mm (1")	40 mm (1½")	50 mm (2")	70 mm (3")	150 mm (6")	
CONCRETOS SIN AIRE INCORPORADO									
30 a 50 (1" a 2")	205	200	185	180	160	155	145	125	
80 a 100 (3" a 4")	225	215	200	195	175	170	160	140	
150 a 180 (6" a 7")	240	230	210	205	185	180	170	
Cantidad aproximada del aire atrapado (%)	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2	
CONCRETOS CON AIRE INCORPORADO									
30 a 50 (1" a 2")	180	175	165	160	145	140	135	120	
80 a 100 (3" a 4")	200	190	180	175	160	155	150	135	
150 a 180 (6" a 7")	215	205	190	185	170	165	160	
Cont. Total aire incorp. (%) en función del grado de exposición	Exposición suave	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5*	1.0*
	Exposición moderada	6	5.5	5	4.5	4.5	4	3.5*	3.0*
	Exposición severa	7.5	7	6	6	5.5	5	4.5*	4.0*

Fuente: Laura, 2006, p.8

La tabla 10 la utilizamos para determinar la cantidad de agua de mezcla sin aire incorporado, la cual depende de del perfil, la consistencia y el tamaño maximo del agregado (Laura, 2006, p.8).

Tabla 10.
Contenido de agua de mezcla

Tamaño máximo Nominal del agregado grueso		Contenido de agua en el concreto, expresado en lt/m ³ , para los asentamientos y perfiles de agregado grueso indicados.					
		25mm a 50mm (1''-2'')		75mm a 100mm (3''-4'')		150mm a 175mm (6''-7'')	
mm.	Pulg.	Agregado redondeado	Agregado anguloso	Agregado redondeado	Agregado anguloso	Agregado redondeado	Agregado anguloso
9.5	3/8''	185	212	201	227	230	250
12.7	1/2''	182	201	197	216	219	238
19.1	3/4''	170	189	185	204	208	227
25.4	1''	163	182	178	197	197	216
38.1	1½''	155	170	170	185	185	204
50.8	2''	148	163	163	178	178	197
76.2	3''	136	151	151	167	163	182

Fuente: Laura, 2006, p.9

Una vez ya calculadas por un metro cubico de concreto la cantidad de agua y el aire atrapado, se procede a determinar el volumen de agua que hay en una unidad de volumen de concreto (Laura, 2006, p.8).

$$Volumen\ de\ agua\ (m^3) = \frac{Contenido\ de\ agua\ de\ mezclado\ (lts/m^3)}{Peso\ Especifico\ del\ agua\ (1000Kg/m^3)}$$

Ecuación 3. *Volumen de agua*

Fuente: Laura, 2006, p.9

1.3.8.5. Selección de la relación agua/cemento (a/c)

Para la elección de la relación agua/cemento se podra hacer de dos maneras, una por resistencia y otra por durabilidad, luego se escojera el menor de dichos valores (Laura, 2006, p.9).

a) Por resistencia

De la tabla 11 se puede seleccionar la relacion a/c, para los concretos elaborados con cemento Portland tipo I o con los normales (Laura, 2006, p.9).

Tabla 11.

Relación agua/cemento y resistencia a la compresión del concreto.

RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 28 DIAS (f'_{cr}) (kg/cm ²)*	RELACION AGUA/CEMENTO DE DISEÑO EN PESO	
	CONCRETO SIN AIRE INCORPORADO	CONCRETO CON AIRE INCORPORADO
450	0.38
400	0.43
350	0.48	0.40
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.70	0.61
150	0.80	0.71

Fuente: Laura, 2006, p.10

b) Por durabilidad

Para la elaboracion de un concreto de minima permeabilidad o si esta bajo procesos de congelacion y deshielo con características húmedas, la Norma Técnica de Edificación E.060 recomienda que se debe cumplir con los requerimientos de la tabla 12 (Laura, 2006, p.10).

Tabla 12.

Máxima relación agua/cemento permisible para concretos sometidos a condiciones especiales de exposición.

CONDICIONES DE EXPOSICION	RELACIÓN AGUA/CEMENTO MÁXIMA.
Concreto de baja permeabilidad:	
a) Expuesto a agua dulce.	0.50
b) Expuesto a agua de mar o aguas salobres.	0.45
c) Expuesto a la acción de aguas cloacales. (*)	0.45
Concreto expuesto a procesos de congelación y deshielo en condición húmeda:	
a) Sardineles, cunetas, secciones delgadas.	0.45
b) Otros elementos.	0.50
Protección contra la corrosión de concreto expuesto a la acción de agua de mar, aguas salobres, neblina o rocío de esta agua.	0.40
Si el recubrimiento mínimo se incrementa en 15 mm.	0.45
(*) La resistencia f_c no deberá ser menor de 245 kg/cm ² por razones de durabilidad.	

Fuente: Laura, 2006, p.10

1.3.8.6. Cálculo del contenido de cemento

Ya calculadas la cantidad de agua y la relación agua, cemento, ahora sigue determinar la cantidad y volumen de cemento, el cual se determina con las ecuaciones 4 y 5 (Laura, 2006, p.11).

$$\text{Contenido de cemento (Kg/m}^3\text{)} = \frac{\text{Contenido de agua de mezclado (Lts/m}^3\text{)}}{\text{Relación a/c (para } f_{cr}\text{)}}$$

Ecuación 4. *Contenido de cemento*

Fuente: Laura, 2006, p.11

$$\text{Volumen de cemento (m}^3\text{)} = \frac{\text{Contenido de cemento (Kg)}}{\text{Peso Especifico del cemento (Kg/m}^3\text{)}}$$

Ecuación 5. *Volumen de cemento*

Fuente: Laura, 2006, p.11

1.3.8.7. *Estimación del contenido de agregado grueso y agregado fino*

METODO DEL COMITÉ 211 DEL ACI:

Se calcula el contenido de agregado grueso utilizando la tabla 13, diseñada por el comité 211 del ACI, que depende del módulo de finura del agregado fino y el tamaño máximo nominal del agregado grueso. Con la tabla 13 determinamos un coeficiente b/b_0 (Laura, 2006, p.11).

Tabla 13.

Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto.

TAMAÑO MAXIMO DEL AGREGADO GRUESO		Volumen de agregado grueso, seco y compactado (*) por unidad de volumen de concreto, para diferentes módulos de fineza del agregado fino.			
		MODULO DE FINEZA DEL AGREGADO FINO			
mm.	Pulg.	2.40	2.60	2.80	3.00
10	3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5	1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
20	3/4"	0.66	0.64	0.62	0.60
25	1"	0.71	0.69	0.67	0.65
40	1 1/2"	0.76	0.74	0.72	0.70
50	2"	0.78	0.76	0.74	0.72
70	3"	0.81	0.79	0.77	0.75
150	6"	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente: (Laura, 2006, p.11)

Una vez calculado b/b_0 se sigue determinar la cantidad del agregado grueso suficiente para 1 m^3 de concreto.

$$\text{Peso seco del A. grueso} \left(\frac{Kg}{m^3} \right) = \frac{b}{b_0} \times (\text{Peso unitario compactado del A. grueso})$$

Ecuación 6. *Peso seco del agregado grueso*

Fuente: Laura, 2006, p.14

Los volúmenes de los agregados grueso y fino se calculan de la siguiente manera:

$$\text{Vol. agregado grueso}(m^3) = \frac{\text{Peso seco del agregado grueso}}{\text{Peso específico del agregado grueso}}$$

Ecuación 7. *Volumen del agregado grueso*

Fuente: Laura, 2006, p.14

$$\text{Vol. agregado fino}(m^3) = 1 - (\text{Vol. agua} + \text{Vol. aire} + \text{Vol. cemento} + \text{Vol. agregado grueso})$$

Ecuación 8. *Volumen del agregado fino*

Fuente: Laura, 2006, p.14

Por consecuencia, el peso seco del agregado fino se determina con la ecuación 9:

$$\text{Peso agregado fino} \left(\frac{Kg}{m^3} \right) = (\text{Vol. A. fino})(\text{Peso específico del A. fino})$$

Ecuación 9. *Peso del agregado fino*

Fuente: Laura, 2006, p.14

1.3.8.8. *Corrección por humedad y absorción*

Se debe tener en cuenta la siguiente notación, con las cuales se procede a calcular las cantidades de agregados en condición húmeda:

$$\text{Agregado Grueso} \begin{cases} \text{Humedad} = \%W_g \\ \% \text{Absorción} = \%a_g \end{cases}$$

$$\text{Agregado Fino} \begin{cases} \text{Humedad} = \%W_f \\ \% \text{Absorción} = \%a_g \end{cases}$$

Pesos de agregados húmedos:

$$\text{Peso A. grueso húmedo (Kg)} = (\text{Peso A. grueso seco}) \cdot \left(1 + \frac{\%W_g}{100}\right)$$

Ecuación 10. *Peso del agregado grueso húmedo*

Fuente: Laura, 2006, p.17

$$\text{Peso A. fino húmedo (Kg)} = (\text{Peso A. fino seco}) \cdot \left(1 + \frac{\%W_f}{100}\right)$$

Ecuación 11. *Peso de agregado fino húmedo*

Fuente: Laura, 2006, p.17

Agua Efectiva:

$$\text{Agua en agregado grueso} = (\text{Peso A. grueso seco}) \cdot \left(\frac{\%W_g - \%a_g}{100}\right) = X$$

Ecuación 12. *Agua en agregado grueso*

Fuente: Laura, 2006, p.17

$$\text{Agua en agregado fino} = (\text{Peso A. fino seco}) \cdot \left(\frac{\%W_f - \%a_f}{100}\right) = Y$$

Ecuación 13. *Agua en agregado fino*

Fuente: Laura, 2006, p.17

$$\text{Agua Efectiva (Lts)} = \text{Agua de diseño} - (X + Y)$$

Ecuación 14. *Agua efectiva*

Fuente: Laura, 2006, p.17

1.3.8.9. Cálculo de las proporciones en peso

$$\text{Cemento} : \text{agregado fino} : \text{agregado grueso} / \text{agua}$$
$$\frac{\text{Peso cemento}}{\text{Peso cemento}} : \frac{\text{Peso A. fino húmedo}}{\text{Peso cemento}} : \frac{\text{Peso A. grueso húmedo}}{\text{Peso cemento}} / \frac{\text{Agua efectiva}}{\text{Peso cemento}}$$

Ecuación 15. Proporciones en peso

Fuente: Laura, 2006, p.17

1.3.8.10. Volúmenes en estado suelto

Cemento :

$$\text{Vol. cemento}(m^3) = \frac{\text{Peso cemento}(Kg)}{P:U:\text{cemento}(1500Kg/m^3)}$$

Ecuación 16. Volumen del cemento

Fuente: Laura, 2006, p.18

Agregado fino :

$$\text{Vol. A. fino}(m^3) = \frac{\text{Peso A. fino húmedo}(Kg)}{P:U:A.\text{fino húmedo}(Kg/m^3)}$$

Ecuación 17. Volumen del agregado fino

Fuente: Laura, 2006, p.18

Agregado grueso :

$$\text{Vol. A. grueso}(m^3) = \frac{\text{Peso A. grueso húmedo}(Kg)}{P:U:A.\text{grueso húmedo}(Kg/m^3)}$$

Ecuación 18. Volumen del agregado grueso

Fuente: Laura, 2006, p.18

La cantidad de agua por bolsa de cemento se calcula de la forma siguiente:

$$\text{Agua}(Lts/Bls) = \frac{\text{Cantidad de agua por } m^3 \text{ de } C^{\circ}}{\left(\frac{\text{Peso cemento por } m^3 \text{ de } C^{\circ}}{\text{Peso cemento por bolsa}(42.5)}\right)}$$

Ecuación 19. Volumen de agua

Fuente: Laura, 2006, p.18

1.3.8.11. Cálculo de las proporciones en volumen

$$\begin{array}{l} \text{Cemento} : \text{agregado fino} : \text{agregado grueso} / \text{agua(Lts/Bls)} \\ \frac{\text{Vol.cemento}}{\text{Vol.cemento}} : \frac{\text{Vol.A.fino}}{\text{Vol.cemento}} : \frac{\text{Vol.A.grueso}}{\text{Vol.cemento}} / \text{Agua(Lts/Bls)} \\ C : F : G / A \end{array}$$

Ecuación 20. *Proporciones en volumen*

Fuente: Laura, 2006, p.18

1.3.8.12. Ajuste de las mezclas

Las cantidades de la mezcla determinadas se deben de verificar si son las correctas, por consiguiente, se elabora una mezcla de prueba o ensayo con los componentes a ser usados en obra, esto siguiendo las indicaciones de la norma C192 del ASTM, o preparando tandas reales diseñadas en obra (Abanto, 2009, p.75).

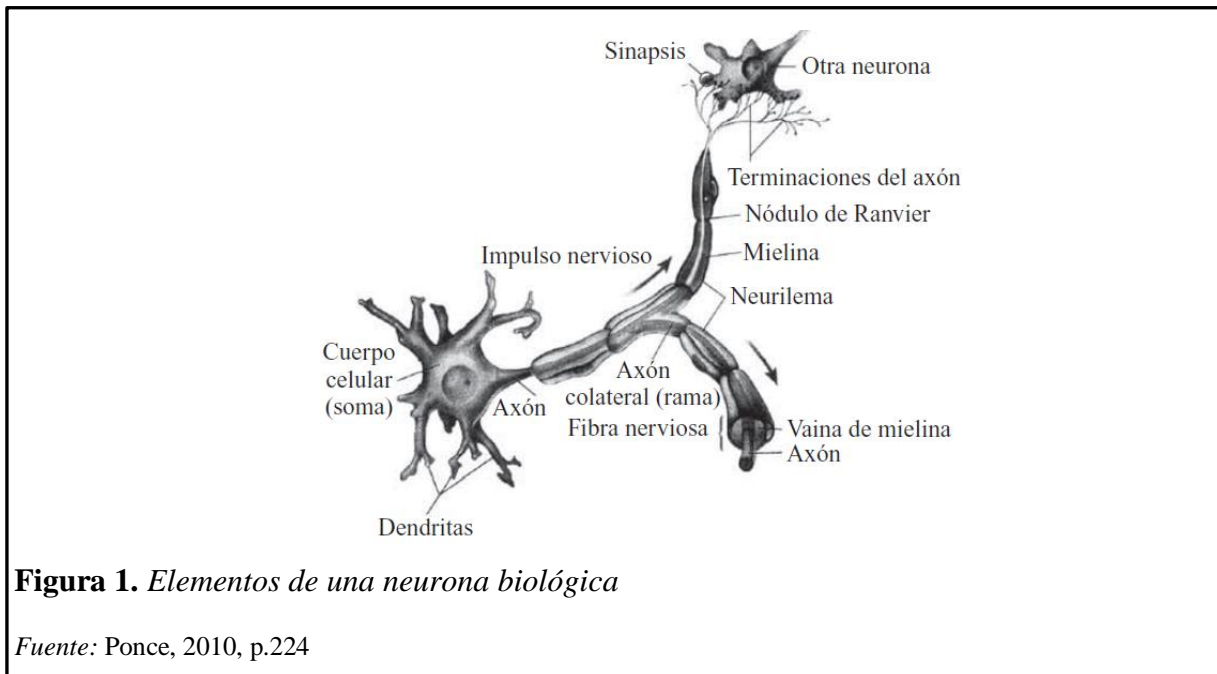
1.3.9. Redes neuronales artificiales

Las redes neuronales artificiales tratan de imitar o copiar una parte muy simple del comportamiento o funcionamiento del cerebro; es por eso que no se pueden comparar de forma directa con el cerebro ni con las reglas que rigen el comportamiento de las redes neuronales artificiales y el cerebro (Ponce, 2010, p.223).

Matemáticamente, las redes neuronales artificiales pueden analizarse como aproximadores no lineales. En los siguientes puntos se resume los principales principios biológicos de las redes neuronales naturales (Ponce, 2010, p.223).

1.3.9.1. Fundamentos biológicos de las redes neuronales naturales

Una neurona biológica es una unidad especializada en procesar información. Esta formada por el soma(cuerpo), el axón (salida) y las dendritas (entrada). A la neurona llegan impulsos o señales de otras neuronas procedentes del axón de estas, y que ingresan por medio de las dendritas, para luego combinarse los impulsos en el cuerpo de la neurona. Los elementos de una red neuronal biológica se muestran en la figura 1 (Ponce, 2010, p.223).



La capacidad de comunicación es una de las principales características de las redes neuronales. A las dendritas y cuerpo les llega señales de entrada, en el cuerpo de la neurona se combinan e integran y luego expulsa señales de salida. Estas señales se envían por el axón, el cual se encarga de distribuir la información a las demás neuronas (Ponce, 2010, p.223).

El impulso o señal proporcionada por la neurona es un impulso eléctrico y se envía a lo largo del axón, por otro lado la señal que ingresa por las dendritas es un impulso químico (Ponce, 2010, p.223).

Se establece una similitud entre la acción sináptica con las redes neuronales artificiales, podemos considerar que las señales que se presentan a la sinápsis representan las entradas de la neurona, estas tienen una ponderación mediante un parámetro llamado peso, el cual es relacionado con la sinápsis correspondiente. Las señales en la entrada realizan dos acciones, de excitación e inhibición, una con sinápsis positiva y la otra negativa (Ponce, 2010, p.224).

1.3.9.2. Características de las Redes neuronales artificiales

Las redes neuronales artificiales adquieren 3 características propias del sistema nervioso:

Procesamiento Paralelo: Las redes neuronales artificiales al igual que las neuronas del cerebro están conformadas por un gran número de procesadores. Esto es una ventaja ya que cada neurona se encarga del procesamiento de un numeroso conjunto de información al mismo tiempo y de

una forma instantánea al igual que en una neurona biológica. Esto se realiza de forma independiente y en paralelo de lo haga hagan las otras neuronas artificiales (Jory, 2007,p.11).

Memoria Distribuida: La información queda guardada en los pesos de cada una de las conexiones de las redes neuronales artificiales, es por esto que la memoria distribuida es una característica. La ventaja que proporciona esta característica es que si una conexión sufre algún daño, solo se pierde una mínima parte de toda la información guardada en el sistema (Jory, 2007,p.11).

Adaptabilidad: Una red neuronal artificial está en la capacidad de tomar las características de su entorno, es decir a adaptarse de lo que hay a su alrededor. En la etapa de entrenamiento los pesos se van modificando, esto a medida que se almacena una gran cantidad de datos que llegan desde el exterior. Luego, en la etapa siguiente, la red neuronal ha adquirido la cualidad de generalizar para un conjunto de datos nuevo (Jory, 2007,p.11).

La figura 2, muestra una comparación de una neurona biológica con una neurona artificial, en ella se pueden ver las diferencias y las similitudes que hay entre ellas.

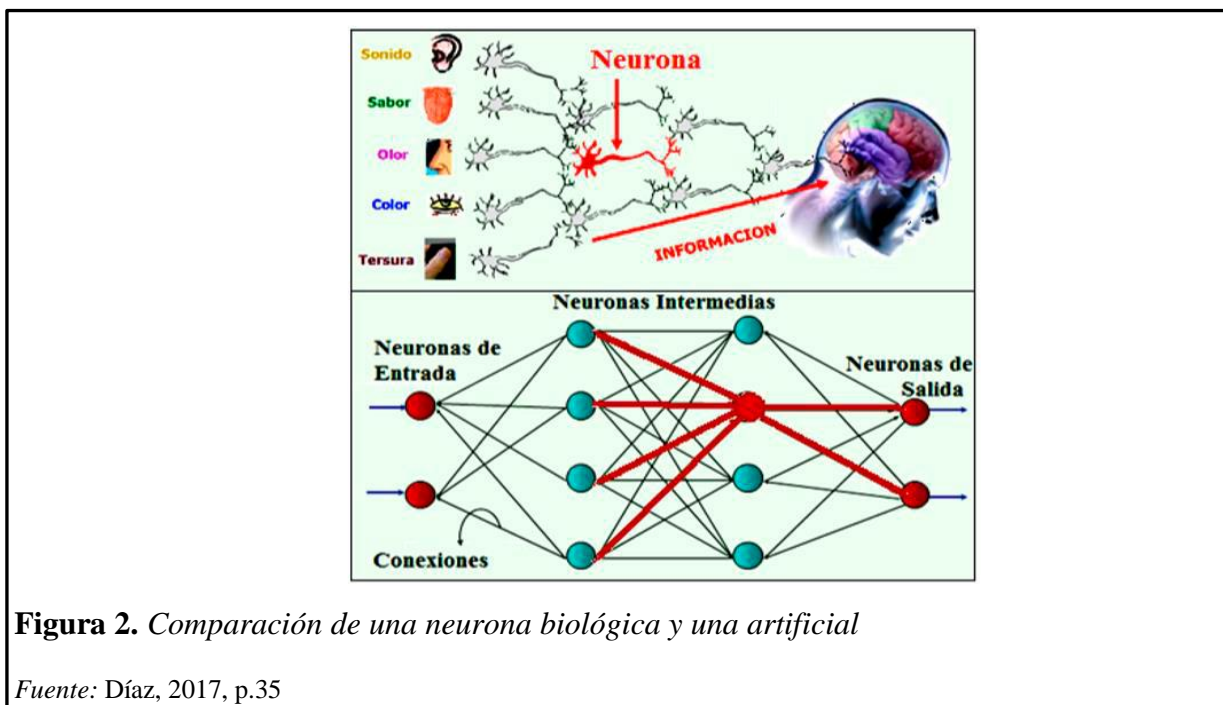


Figura 2. Comparación de una neurona biológica y una artificial

Fuente: Díaz, 2017, p.35

1.3.9.3. Definición de una Red Neuronal Artificial

La neurona artificial es un procesador básico de cálculo, y es el elemento fundamental de una red neuronal artificial. La neurona recibe de otras neuronas o del exterior un vector de entrada, y por medio de una función de activación, transmite una respuesta de salida, y esta se propaga hacia las demás neuronas o al exterior. Las neuronas se juntan y conforman capas, y estas conforman redes neuronales (Jory, 2007,p.11).

La figura 3, muestra la modelacion matemática de una neurona biologica.

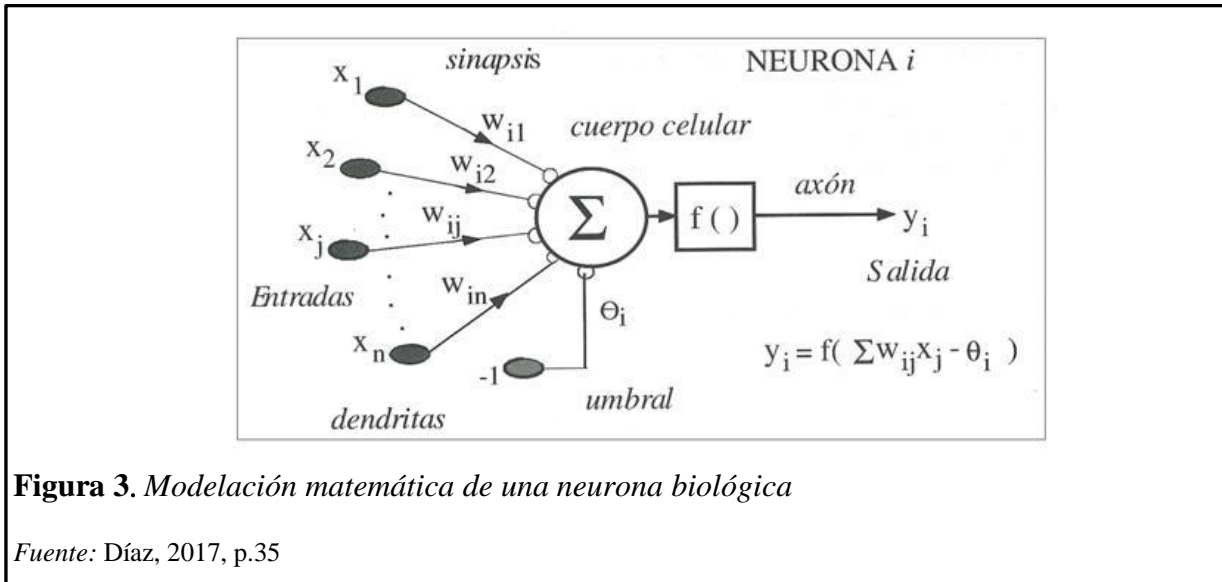


Figura 3. Modelación matemática de una neurona biológica

Fuente: Díaz, 2017, p.35

En muchas redes las unidades de proceso tienen respuesta de la forma:

$$y_i = f\left(\sum_n w_{ij}x_j - \theta_i\right)$$

Ecuación 21. Salida de una red neuronal artificial

Fuente: (Jory, 2007,p.12)

donde:

x_j: información representada por un vector de entrada

w_{ij}: pesos sinápticos de la neurona i

f(*): función de activación

θ_i: umbral de excitación llamado sesgo o bias

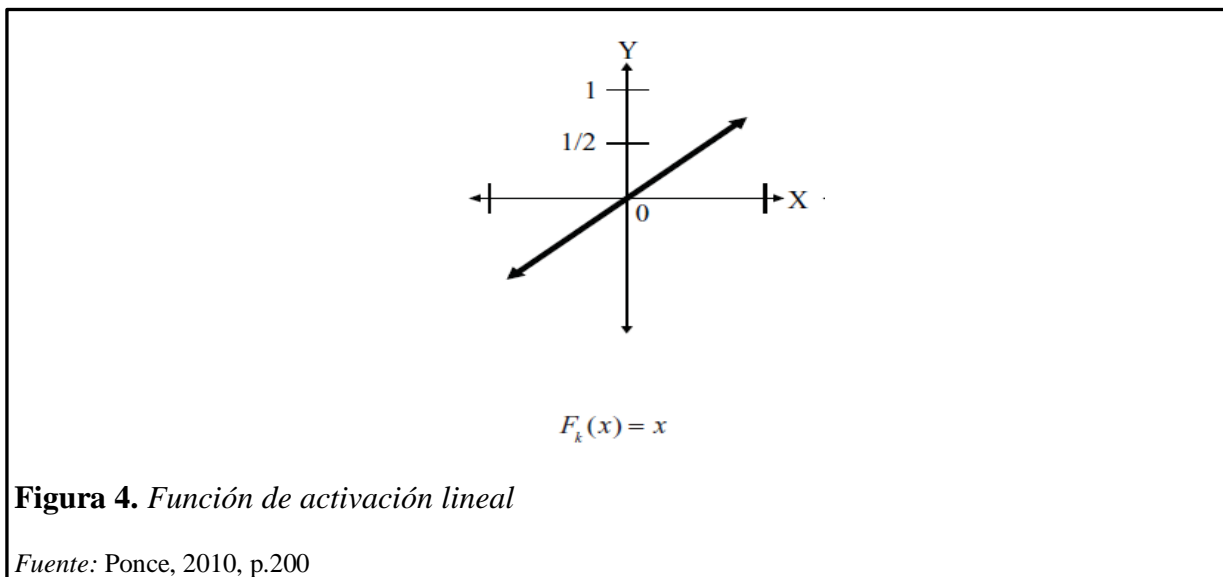
La función de activación “f” puede ser representada por las funciones logaritmo sigmoideal, tangente sigmoideal, y lineal, estas funciones se encuentran en Matlab como Logsig, tansig y purelin respectivamente (Ponce, 2010, p.199).

Se denomina excitación de la neurona cuando el peso sináptico w_{ij} es positivo e inhibición de la neurona cuando w_{ij} es negativo (Ponce, 2010, p.199).

1.3.9.4. funciones de activación

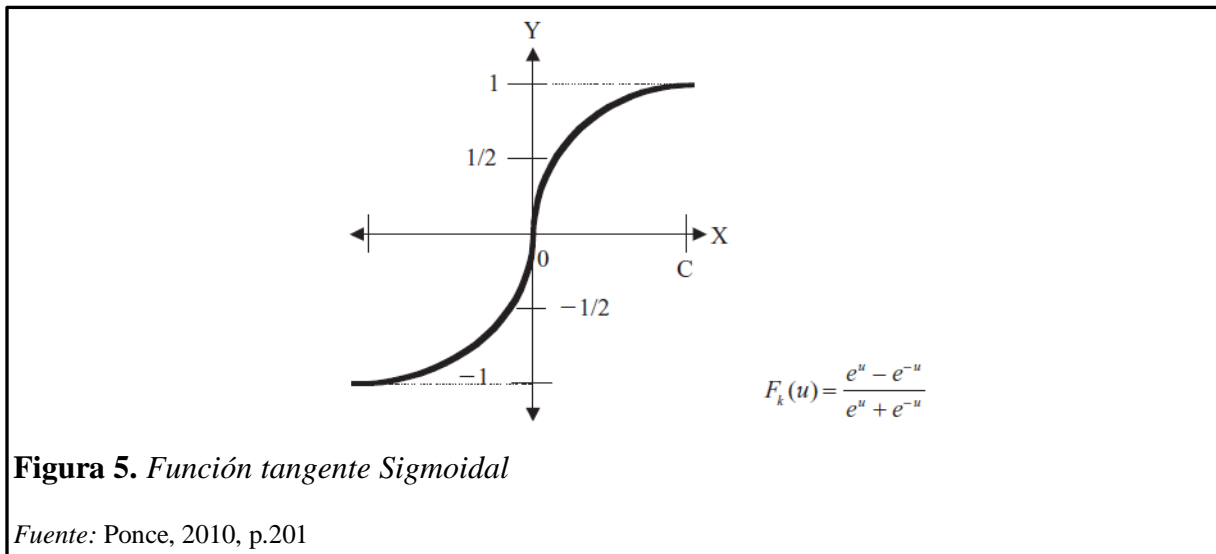
1.3.9.4.1. Función Lineal (PURELIN)

Cuando se necesita que todo el conjunto de datos tenga el mismo nivel de importancia, se debe utilizar la función lineal o Purelin, debido a que esta función al distanciarse del valor cero, no pierde sensibilidad (Jory, 2007,p.13).



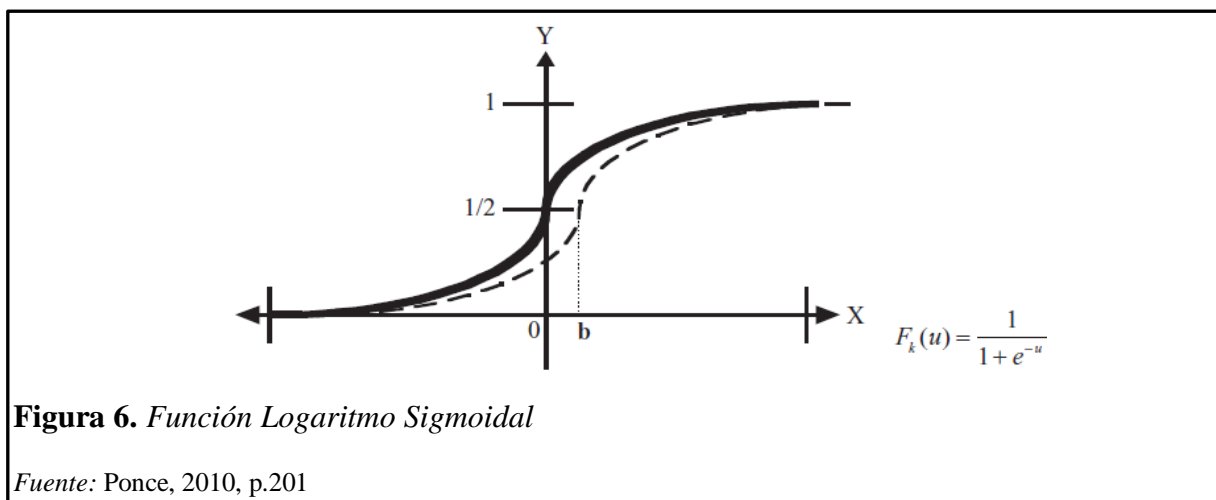
1.3.9.4.2. Función Tangente Hiperbólica Sigmoideal (TANSIG)

Se utiliza en ocasiones que los datos presenten modificaciones suaves de valores numéricos positivos y negativos del impulso a catalogar. (Ponce, 2010, p.201)



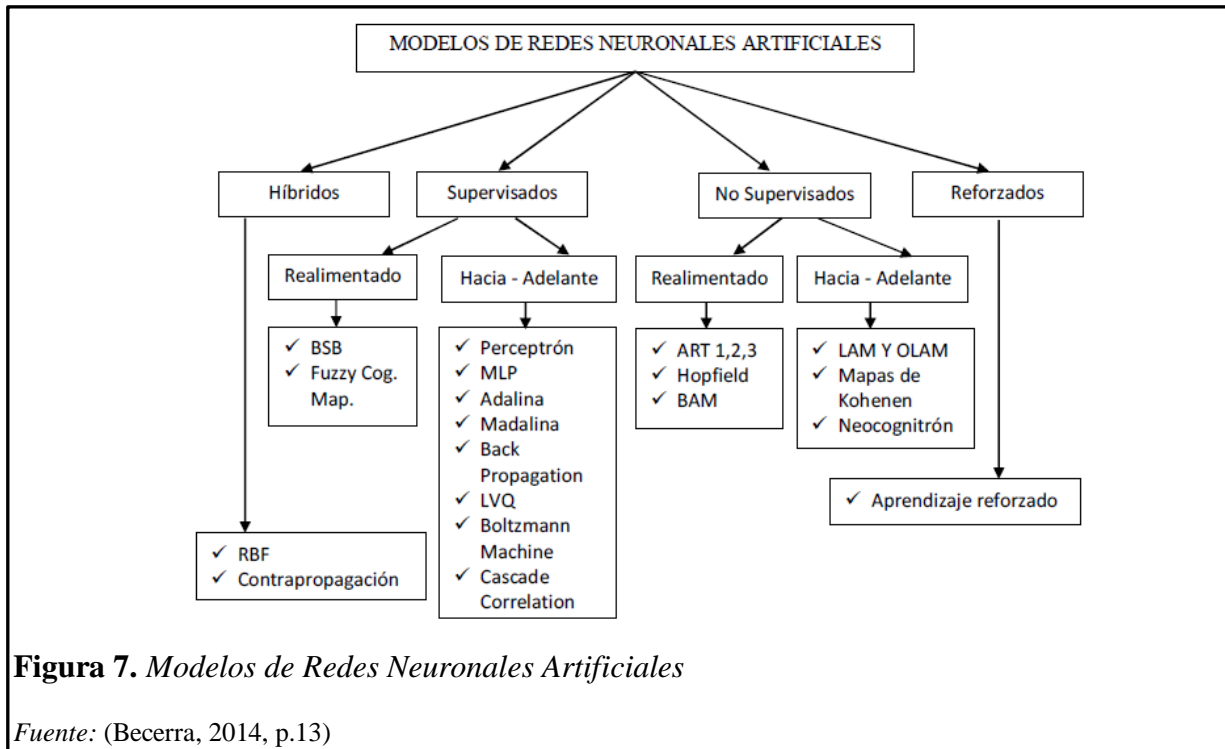
1.3.9.4.3. Función Logaritmo Sigmoidal (LOGSIG)

La función Logaritmo Sigmoidal es la más utilizada, tiene un rango de cero a uno. Se emplea cuando se quiere que el aprendizaje se concentre en valores no extremos, debido a que ajusta señales demasiado fuertes sin que estas produzcan saturación y acepta señales blandas sin que causen exagerada atenuación (Jory, 2007,p.13).



1.3.9.5. Clasificación de las Redes Neuronales Artificiales

Las redes Neuronales artificiales se clasifican en modelos híbridos, supervisados, no supervisados y reforzados (Becerra, 2014, p.13).



1.3.9.6. Perceptrón multicapa

Esta red neuronal es constituida por muchas capas; su función es la de actuar como un aproximador universal de funciones basándose en el algoritmo de aprendizaje backpropagation, como consecuencia la red neurona debe de tener como mínimo una capa oculta. Tiene la capacidad de estimar una función o relación de un conjunto de variables de entrada y salida.

Rumelhart et al. (1986) descubrieron un algoritmo de aprendizaje que llamaron Regla Delta Generalizada, y es por medio de esta regla que la red perceptrón multicapa puede comprender la relación que existe entre un grupo de datos de entrada y sus respectivas salidas. (San Miguel, 2016, p.12)

1.3.9.6.1. Arquitectura

En una red neuronal artificial las neuronas se unen por medio de conexiones sinápticas, para luego transmitirse en una sola dirección, estas conexiones siempre van hacia adelante, no existen conexiones hacia los lados, ni tampoco hay conexiones hacia atrás, la información parte siempre desde la entrada y se traslada hacia la salida. Las neuronas se reúnen o asocian en capas y estas a su vez forman una red neuronal artificial. (Jory, 2007,p.15)

La red perceptrón multicapa está conformada por:

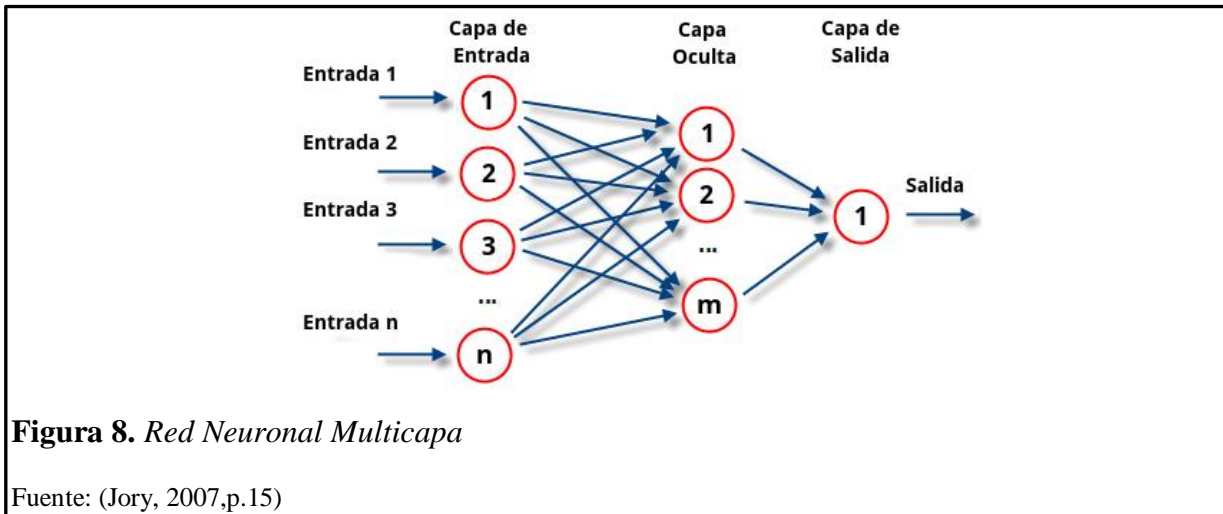


Figura 8. Red Neuronal Multicapa

Fuente: (Jory, 2007,p.15)

Capa de entrada: El número de componentes del vector de entrada determina el número de neuronas en esta capa. Las variables que se ingresan aquí pueden ser binarias o continuas, de acuerdo a la aplicación que se esté desarrollando (Jory, 2007,p.15).

Capa oculta: El procesamiento de los datos que ingresaron a la red neuronal artificial a través de la capa de entrada se realiza en la capa oculta, y justo es aquí donde se procesa y memoriza la información obtenida de los datos de entrada, luego esta información pasa por una función de activación y se transmite a la capa posterior. El número de capas ocultas y neuronas queda a criterio del investigador (Jory, 2007,p.16).

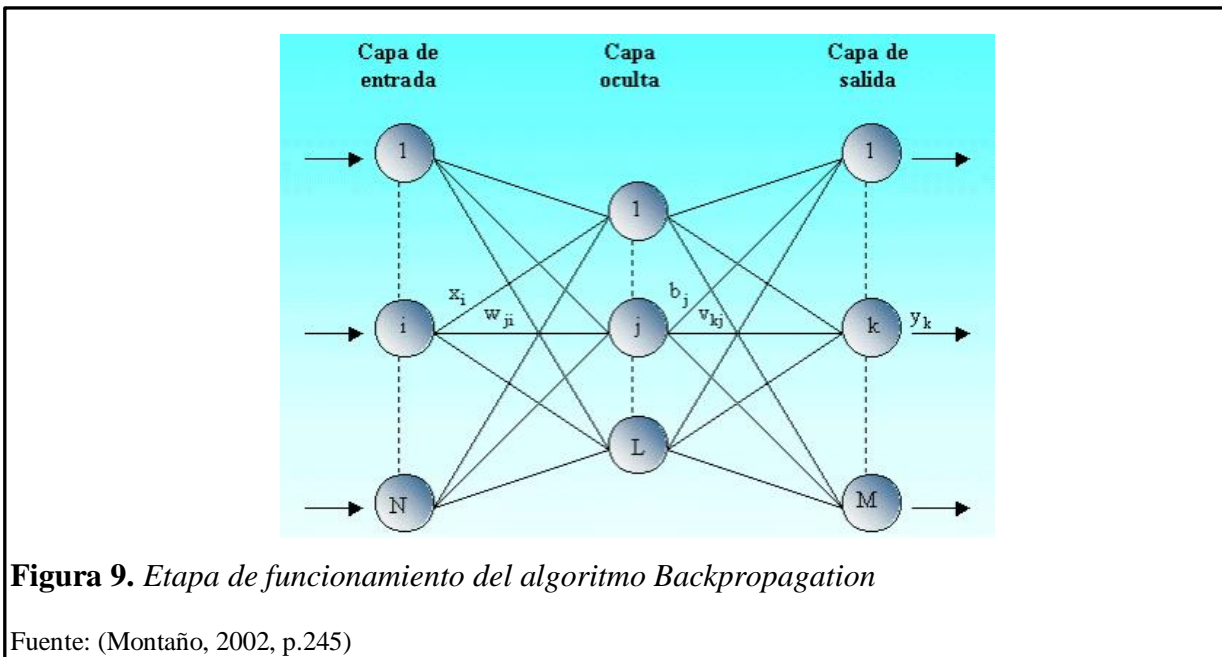
Capa de salida: Los datos que llegan a esta capa, también se les aplica una función de activación, para posteriormente dar como resultado final de la red neuronal artificial un valor binario (clasificación) o un valor continuo (predicción) (Jory, 2007,p.16).

1.3.9.6.2. Algoritmo backpropagation

Se presentan 2 etapas en este algoritmo, primero una etapa de funcionamiento, donde se ingresa a la red un vector de entrada y esta magnitud se propaga por medio de las capas sucesivas de nodos (neuronas), para luego tener como respuesta una salida. Finalmente, en la etapa de entrenamiento o aprendizaje es donde se cambian o modifican los pesos sinápticos de la red neuronal hasta hacer que los valores de salida obtenidos por la red neuronal se aproximen a las salidas deseadas por el investigador en todos los datos de entrada. (Montaño, 2002, p.245)

a) Etapa de funcionamiento

Se ingresa a la red neuronal el patrón de entrada $X_p = (x_{p1}, x_{p2}, \dots, x_{pi}, \dots, x_{pN})$, este vector se transfiere por medio de los pesos sinápticos W_{ji} , iniciando desde la capa de entrada hasta la capa oculta. Los nodos de la capa oculta modifican las señales recibidas a través del uso de una función de activación, logrando obtener de esta manera un valor de salida. Estos se transfieren por medio de los pesos sinápticos V_{kj} rumbo a la capa de salida, y de manera análoga a lo anterior, los nodos (neuronas) de esta capa ultima otorgan a la red neuronal una salida. La figura 9, nos muestra un esquema de esta etapa. (Montaño, 2002, p.245)



Matemáticamente, el proceso anterior se puede interpretar de la siguiente forma:

La neurona oculta “j”, recibe una entrada, llamada entrada neta o total representada:

$$net_{pj} = \sum_{i=1}^N w_{ji} x_{pi} + \theta_j$$

Ecuación 22. Entrada Neta en la neurona "j" de la capa oculta

Fuente: (Montaño, 2002, p.245).

θ_j es el sesgo o bias (umbral) de la neurona “j”, donde su peso relacionado con una neurona imaginaria es igual uno.

La respuesta de salida de la neurona oculta “j” es b_{pj} , y se calcula, haciendo uso de la función de activación “f”, aplicándola sobre la entrada neta.

$$b_{pj} = f(\text{net}_{pj})$$

Ecuación 23. Salida de la neurona "j" de la capa oculta

Fuente: (Montaño, 2002, p.245)

De forma análoga, la neurona “k” de la capa de salida, recibe una entrada neta igual a:

$$\text{net}_{pk} = \sum_{j=1}^L v_{kj} b_{pj} + \theta_k$$

Ecuación 24. Entrada Neta en la neurona "k" de la capa de salida

Fuente: (Montaño, 2002, p.245)

Y finalmente, la neurona “k” en la capa de salida tiene un valor de salida igual a y_{pk} (Montaño, 2002, p.245).

$$y_{pk} = f(\text{net}_{pk})$$

Ecuación 25. Salida de la neurona "k" de la capa de salida

Fuente: (Montaño, 2002, p.245)

b) Etapa de aprendizaje o entrenamiento

El propósito que se busca lograr, es conseguir que la diferencia o error entre la salida obtenida por la red neuronal y la salida deseada por el investigador sea mínima ante el ingreso de un conglomerado de datos de entrada llamado conjunto de entrenamiento (Montaño, 2002, p.246).

La función de Error que se quiere minimizar para cada vector de entrada “p” está representada por:

$$E_p = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^M (d_{pk} - y_{pk})^2$$

Ecuación 26. *Función de Error para el vector de entrada "p"*

Fuente: (Montaño, 2002, p.246)

Donde:

d_{pk} : es la salida deseada por el investigador en la neurona "k" de la capa de salida ante el ingreso del vector de entrada "p".

Como consecuencia de lo anterior, se ha obtenido una expresión que mide de forma general el error, a través de: (Montaño, 2002, p.246).

$$E = \sum_{p=1}^P E_p$$

Ecuación 27. *Función de Error de la red neuronal artificial*

Fuente: (Montaño, 2002, p.246).

Para modificar los pesos sinápticos se utilizará el método del gradiente decreciente. De la ecuación anterior se tiene que E_p depende de todos los pesos de la red neuronal artificial, entonces el gradiente de E_p es un vector igual a la derivada parcial de E_p respecto de cada uno de los pesos. Por conceptos matemáticos se sabe que el gradiente sigue la dirección del incremento más rápido en la función error, por el contrario, la dirección opuesta (dirección negativa) define el decremento más rápido en la función error. Como consecuencia, la modificación de los pesos se hará de la siguiente forma: (Montaño, 2002, p.247).

$$w_{ji}(t + 1) = w_{ji}(t) - \alpha \nabla E_p$$

Ecuación 28. *Variación de los pesos sinápticos*

Fuente: (Garnica, Gómez, & Pérez, 2018, p.7)

Donde:

" α ": se denomina factor de aprendizaje, es mayor que cero, pero menor que uno.

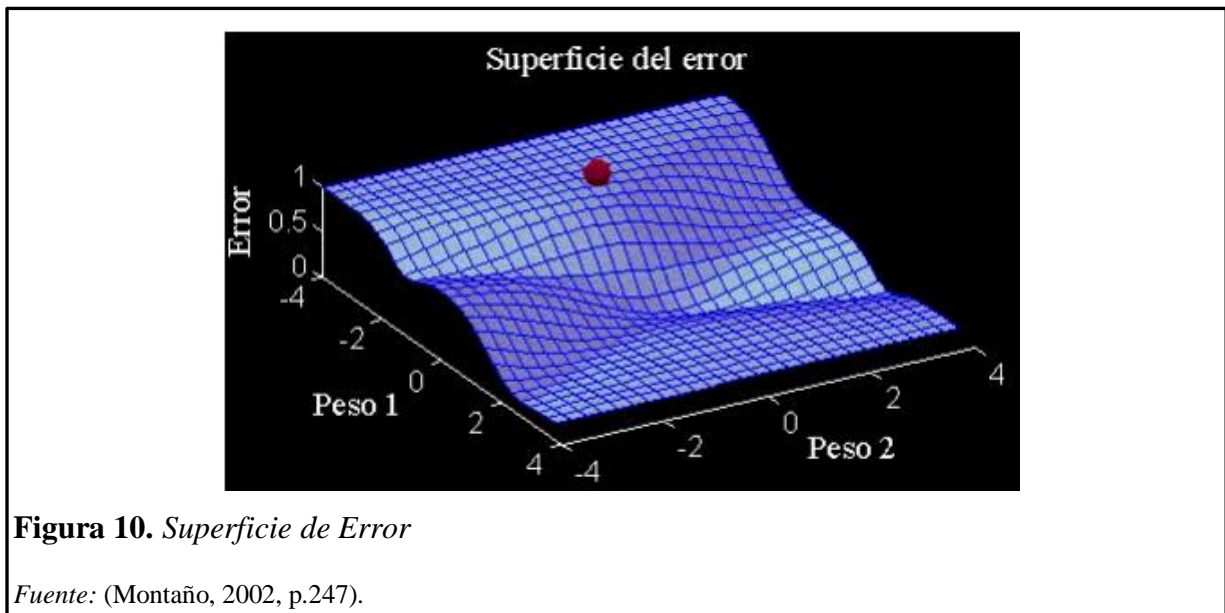
Por ende, la modificación de los pesos sinápticos será proporcional al gradiente de la función Error:

$$\Delta w_{ji} = -\alpha \frac{\partial E_p}{\partial w_{ji}}$$

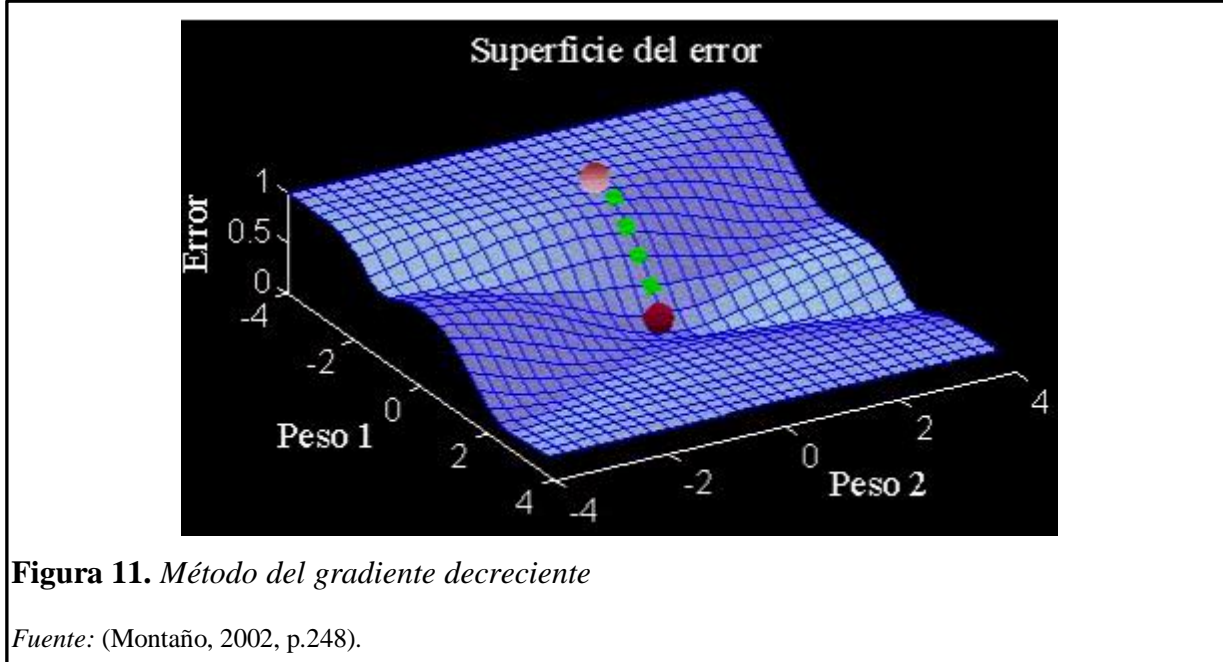
Ecuación 29. *Gradiente decreciente*

Fuente: (Garnica, Gómez, & Pérez, 2018, p.7)

El proceso de aprendizaje se muestra de forma gráfica, en la figura 10 y 11. Para hacer más sencillo el problema, suponer que nuestra red neuronal artificial está conformada por dos pesos sinápticos, a los cuales les corresponde un error, la figura 10 nos muestra la superficie que se forma ante diversos pesos y sus correspondientes errores cuando se ingresa el conjunto de datos de entrenamiento. El proceso de entrenamiento empieza en un específico punto, denotado por la bola roja, que depende de los pesos sinápticos iniciales de la red (Montaño, 2002, p.247).



El método del gradiente decreciente busca conseguir información local de la pendiente de la superficie, para luego cambiar de forma iterativa los pesos sinápticos de manera proporcional a esa pendiente, esto con la finalidad de garantizar el descenso por la superficie del error, y conseguir llegar al punto mínimo más próximo. La figura 11, describe el proceso a través de la simbolización del descenso de la bola roja hasta llegar a un mínimo. (Montaño, 2002, p.248)



La grafica se convierte en plano multidimensional, cuando se aumenta el número de pesos, pero se continuará utilizando el método del gradiente decreciente.

Para conseguir la modificación de los pesos de manera iterativa, se tiene que utilizar la regla de la cadena a la expresión del gradiente y agregar un factor de aprendizaje “ α ”, para evitar de esta manera la convergencia hacia un mínimo local.

La modificación del peso de una neurona de salida es:

$$\Delta v_{kj}(t + 1) = \alpha \sum_{p=1}^P \delta_{pk} b_{pj}$$

Ecuación 30. Peso modificado de la neurona de salida
 Fuente: (Montaño, 2002, p.249)

Donde

$$\delta_{pk} = (d_{pk} - y_{pk})f'(net_{pk})$$

y “t” indica la iteración.

La modificación del peso de una neurona en la capa oculta es:

$$\Delta w_{ji}(t + 1) = \alpha \sum_{p=1}^P \delta_{pj} x_{pi}$$

Ecuación 31. *Peso modificado de la neurona oculta*

Fuente: (Montaño, 2002, p.249)

Donde

$$\delta_{pj} = f'(\text{net}_{pj}) \sum_{k=1}^M \delta_{pk} v_{kj}$$

Se observa que el valor delta o error relacionado a una neurona oculta “j”, está definido como la sumatoria de los errores que se presentan en las “k” neuronas de salida, donde estas últimas se encargan de recibir como entrada, la salida de la neurona oculta “j”. Es por este motivo, que el algoritmo se llama también “propagación del error hacia atrás”. (Montaño, 2002, p.249)

Para modificar los pesos, se realizará la actualización después que se hayan introducido todos los datos de entrada a la red neuronal.

1.3.9.6.3. Algoritmo de Levenberg Marquardt

Existen algoritmos que se basan en calcular las matrices hessianas que adicionan un segundo orden al algoritmo backpropagation. Dicho de otra manera, la matriz hessiana es la matriz de derivadas de segundo orden de la función de error, aplicados en los pesos sinápticos actuales, esto con la finalidad de buscar la dirección óptima del gradiente.

La desventaja de estos algoritmos, es que requiere de cálculos muy complejos, esto debido a que la matriz hessiana toma un tiempo excesivo para hallarse, y es proporcional a la cantidad de parámetros de la red neuronal. Por este motivo, que, para redes con una gran cantidad de pesos sinápticos, se recomienda poco el utilizar estos algoritmos.

Para darle solución al problema anterior, se planteó utilizar un algoritmo llamado Levenberg Marquardt, el cual tiene como objetivo determinar la dirección del cambio de la función de error basándose en las derivadas de segundo orden, utilizando una aproximación de la matriz hessiana.

El procedimiento para la modificación de los pesos se explicará a continuación. Tenemos una red neuronal con “q” salidas, cuyo objetivo es minimizar la función:

$$E(w) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^q e_i^2(w) = \frac{1}{2} e(w)^t \cdot e(w)$$

Ecuación 32. *Función de error a minimizar*

Fuente: (Garnica, Gómez, & Pérez, 2018, p.6)

Donde:

$$e(w)^t = (e_1(w), e_2(w), \dots, e_q(w))$$

$$e_i(w) = d_i - y_i \quad ; \forall i = 1, 2, 3, \dots, q$$

El gradiente de la función E(w), se expresa de la forma siguiente:

$$\nabla E(w) = \sum_{i=1}^q e_i(w) \nabla e_i(w) = J^t \cdot e(w)$$

Ecuación 33. *Gradiente de la función E(w)*

Fuente: (Garnica, Gómez, & Pérez, 2018, p.10)

La matriz hessiana se expresa de la siguiente forma:

$$\nabla^2 E(w) = \sum_{i=1}^q \left[\nabla e_i(w) (\nabla e_i(w))^t + e_i(w) \nabla^2 e_i(w) \right] = J^t(w) \cdot J(w) + S(w)$$

Ecuación 34. *Matriz Hessiana*

Fuente: (Garnica, Gómez, & Pérez, 2018, p.9)

J(w) es la matriz Jacobiana y es definida por:

$$J(w) = \begin{bmatrix} \frac{\partial e_1(w)}{\partial w_1} & \frac{\partial e_1(w)}{\partial w_2} & \dots & \frac{\partial e_1(w)}{\partial w_n} \\ \frac{\partial e_2(w)}{\partial w_1} & \frac{\partial e_2(w)}{\partial w_2} & \dots & \frac{\partial e_2(w)}{\partial w_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial e_q(w)}{\partial w_1} & \frac{\partial e_q(w)}{\partial w_2} & \dots & \frac{\partial e_q(w)}{\partial w_n} \end{bmatrix}$$

Ecuación 35. *Matriz Jacobiana*

Fuente: (Garnica, Gómez, & Pérez, 2018, p.9)

Y

$$S(w) = \sum_{i=1}^q e_i(w) \nabla^2 e_i(w)$$

$S(w)$ forma parte de $\nabla^2 E(w)$. Por el método de Newton se toma que $S(w)$ es aproximadamente igual a cero.

La variación de pesos sinápticos por medio de newton es:

$$\Delta w = -[\nabla^2 E(w)]^{-1} \cdot \nabla E(w)$$

Ecuación 36. *Algoritmo de Newton*

Fuente: (Garnica, Gómez, & Pérez, 2018, p.10)

Reemplazando las ecuaciones 33 y 34 en la ecuación 36, el algoritmo de Newton quedaría de la siguiente forma:

$$\Delta w = -[J^t(w) \cdot J(w)]^{-1} \cdot J^t(w) \cdot e(w)$$

Ecuación 37. *Algoritmo de Newton en función del Jacobiano*

Fuente: (Garnica, Gómez, & Pérez, 2018, p.10)

Puesto que el algoritmo de Levenberg Marquardt es una aproximación del algoritmo de Newton, la actualización de pesos quedaría:

$$w(t + 1) = w(t) - [J^t(w) \cdot J(w) + \mu I]^{-1} \cdot J^t(w) \cdot e(w)$$

Ecuación 38. *Algoritmo de Levenberg Marquardt*

Fuente: (Garnica, Gómez, & Pérez, 2018, p.10)

Donde "I" es la matriz identidad y el parámetro " μ " aumenta o disminuye en cada iteración.

1.3.9.7. Fases en el perceptrón multicapa

En este punto se presenta la secuencia de pasos que se tienen que seguir para diseñar una red neuronal.

1.3.9.7.1. Selección de variables relevantes

Se deben de seleccionar de manera cuidadosa las variables a usar, con la finalidad de conseguir un modelo de red neuronal óptimo. El objetivo es el de incorporar en el modelo las variables de predicción que pueden conseguir estimar o predecir la variable de salida o dependiente. El uso de variables innecesarias puede producir un sobreajuste indebido en el modelo. Este problema se hace presente cuando la cantidad de pesos o parámetros de la red son muy superiores en comparación con el número de datos del conjunto de entrenamiento que se tiene. El sobreajuste es la reducción de la capacidad de generalizar por parte de la red neuronal, es decir pierde la cualidad de dar una respuesta correcta frente a datos que no fueron utilizados en la etapa de entrenamiento. (Montaño, 2002, p.251)

1.3.9.7.2. Creación de conjuntos de entrenamiento, validación y test

Con la finalidad de hallar una red neuronal artificial que tenga mejores resultados ante nuevos casos (capacidad de generalizar), el conjunto de datos de entrada es dividida en tres subconjuntos: entrenamiento, validación y test. (Montaño, 2002, p.252)

Conforme ingresan los datos del subconjunto de entrenamiento a la red, los pesos son modificados de manera iterativa en la etapa de entrenamiento de la red neuronal, esto con el objetivo de hacer mínimo el error existente entre la salida deseada por el investigador y la salida conseguida por el modelo de red neuronal. Si la cantidad de parámetros o pesos son demasiados, el modelo de red adopta las características intrascendentes que se encuentran adherentes en los datos de entrenamiento en lugar de ajustarse a la relación que correlaciona a los datos de entrada y salida, disminuyendo la capacidad de generalizar su aprendizaje ante el ingreso de nuevos datos. (Montaño, 2002, p.252)

La solución para prevenir el sobreajuste, es emplear un segundo conjunto de datos distintos a los datos de entrenamiento, este nuevo grupo de datos se llama conjunto de validación, y sirve para supervisar la etapa de aprendizaje o entrenamiento. En el aprendizaje la red va cambiando los pesos a medida que ingresan los datos de entrenamiento y de manera simultánea se calcula el error cometido por la red ante el ingreso de los datos del conjunto de validación. Lo que se desea conseguir, es que el error originado por los datos de entrenamiento y el error cometido por los datos de validación comiencen a disminuir, conforme vayan aumentando la cantidad de iteraciones, hasta llegar a obtener un valor mínimo de error, lo que indica que podemos detener el aprendizaje de la red. (Montaño, 2002, p.253)

Finalmente, si quisiéramos calcular de manera objetiva la eficiencia del modelo elaborado, no podríamos aceptar al error que se origina mediante los datos de validación como un medidor confiable de la eficiencia del sistema, puesto que estos datos han colaborado con la etapa de entrenamiento. Por este motivo se debe de tener un tercer conjunto de datos totalmente diferente de los conjuntos de entrenamiento y validación, este grupo de datos recibe el nombre de conjunto test; este nuevo conjunto permite estimar de forma insesgada el error de generalización de la red. (Montaño, 2002, p.253)

1.3.9.7.3. Entrenamiento de la red neuronal artificial

Dado un problema de predicción, no se puede saber a priori que valores tomarán los pesos iniciales, la arquitectura de la red, los valores de factor de aprendizaje o del coeficiente de combinación, y función de activación, se sugiere que estos parámetros sean determinados a través de ensayo y error, luego la red neuronal con su respectiva configuración de parámetros que tenga el mínimo error producido por el conjunto de datos de validación, será la que se seleccionará para después pasar a la etapa de test. (Montaño, 2002, p.254)

a) Selección de los pesos iniciales

Con el diseño de una red neuronal, también se incluye la asignación de valores para los pesos, lo cual permitirá iniciar la etapa de entrenamiento. Los pesos de las conexiones y sesgos se pueden dar de manera aleatoria, aunque también se recomienda que para que la duración del entrenamiento sea mínima se tomen valores en un rango de -0.5 y 0.5 o algo parecido. (Montaño, 2002, p.254)

b) Arquitectura de la red

La cantidad de neuronas en la capa de entrada es la misma que la cantidad de variables que se utilizarán para diseñar el modelo de red neuronal. La cantidad de neuronas de la capa de salida se determina de acuerdo al problema que se quiera solucionar, en el caso de un problema de estimación o predicción bastará con una sola neurona que proporcionará como salida el valor de la variable a predecir. Para determinar la cantidad de neuronas en la capa oculta, no hay un procedimiento que nos permita saber con exactitud este número, lo que si se recomienda es evaluar el rendimiento de distintos modelos de redes neuronales variando el número de neuronas en esta capa. (Montaño, 2002, p.255)

c) Factor de aprendizaje " α " y parámetro " μ "

En el algoritmo backpropagation el factor de aprendizaje “ α ” tiene una función de suma importancia en la etapa de entrenamiento de una red neuronal artificial, ya que influye en la modificación de los pesos en cada una de las iteraciones. Se sugiere seleccionar una tasa de aprendizaje entre 0.05 y 0.5. (Montaño, 2002, p.256)

En el algoritmo Levenberg Marquardt “ μ ” se denomina coeficiente de combinación y es mayor que cero. Generalmente en un inicio se considera $\mu = 0.001$

d) Función de activación

Los algoritmos backpropagation y Levenberg Marquardt necesitan que la función de activación sea continua, esto para poder garantizar la existencia de la derivada del error. Las funciones que cumplen con esta característica son 3: la función lineal, la función tangente hiperbólica sigmoideal y la función logaritmo sigmoideal. (Montaño, 2002, p.256)

1.3.9.7.4. Evaluación del rendimiento del modelo de red neuronal

Finalmente, existen diversas técnicas para evaluar el rendimiento o desempeño del modelo seleccionado, como por ejemplo el error cuadrático medio (MSE), el coeficiente de correlación (R) y el coeficiente de determinación (R^2). (González , Guerrero, Delvasto, & Will, 2012, p.10)

$$MSE = \frac{\sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^M (d_{pk} - y_{pk})^2}{P \cdot M}$$

Ecuación 39. *Error cuadrático medio*

Fuente: (Montaño, 2002, p.258)

1.4. Formulación del Problema:

¿De qué manera las Redes Neuronales Artificiales permiten predecir la resistencia a compresión del concreto?

1.5. Justificación e Importancia del Estudio:

1.5.1. Justificación tecnológica:

La presente tesis, propone a las redes neuronales artificiales como una metodología apropiada para resolver problemas de optimización, clasificación y predicción, además que se muestra al software Matlab como un programa con la capacidad de adaptarse a la situación de los problemas presentados.

1.5.2. Justificación social:

Dar a conocer a través la presente tesis el uso de este modelo de red neuronal para ser emplearlo en nuevas predicciones de resistencia a compresión del concreto, que proporcionen información adecuada a empresas constructoras que puedan solucionar problemas constructivos a un bajo costo y en un menor tiempo con un margen de error mínimo.

1.5.3. Justificación ambiental:

El uso de modelos basados en redes neuronales para pronosticar la resistencia a compresión del concreto evitaría la utilización de probetas de concreto, y posteriormente su destrucción, lo cual generaría menos contaminación ambiental.

1.5.4. Justificación económica

Plantear una nueva opción técnica económica como la aplicación de redes neuronales y por ende llegar a resultados confiables en la estimación de la resistencia del concreto a la compresión, dejando de lado el ensayo tradicional para calcular esta característica del concreto, que suelen tener un elevado precio.

1.6. Hipótesis:

Las redes neuronales artificiales permiten predecir de manera significativa la resistencia a la compresión del concreto.

1.7. Objetivos:

1.7.1. Objetivo General:

Diseñar un modelo dinámico con redes neuronales artificiales para predecir la resistencia a la compresión del concreto.

1.7.2. Objetivos Específicos:

- a) Registrar una base de datos conformada por las propiedades de los agregados, tipo de cemento, diseño de mezcla y la resistencia a la compresión del concreto, obtenidas de las tesis de titulación de la universidad Señor de Sipán y universidad Cesar Vallejo Chiclayo.
- b) Establecer 10 modelos de redes neuronales artificiales empleando el software Matlab.

- c) Determinar las propiedades del agregado grueso y fino mediante los ensayos de granulometría, peso unitario suelto y compactado, peso específico, contenido de humedad y porcentaje de absorción.
- d) Definir cuatro diseños de mezclas de concreto con una resistencia de 175 Kg/cm², 210 Kg/cm², 280 Kg/cm² y 350 Kg/cm².
- e) Calcular la resistencia a la compresión de las probetas elaboradas, empleando el ensayo en la máquina de compresión y comparar con los $f'c$ estimados por la red neuronal artificial.

II. MATERIAL Y MÉTODO

2.1. Tipo y Diseño de Investigación:

2.1.1. Tipo de investigación:

La investigación se ubica dentro del paradigma positivista y es de tipo Explicativa en modalidad propositiva.

2.1.2. Diseño de la investigación:

Es un diseño descriptivo causal simple con propuesta, y su esquema es el siguiente:

$$M \leftarrow O..MD$$

Donde:

M: muestra de estudio.

O: información a recoger sobre la resistencia a la compresión del concreto.

MD: diseño de un modelo dinámico con redes neuronales artificiales.

2.2. Población y muestra:

2.2.1. Población:

La población en esta investigación está conformada por las tesis de titulación de la escuela profesional de ingeniería civil que estudian la resistencia del concreto a la compresión, publicadas en el repositorio y biblioteca de la universidad Señor de Sipán y Universidad Cesar Vallejo Chiclayo.

También se consideró como población al conjunto de probetas de concreto (testigos) ensayadas según NTP 339.034:2008.

2.2.2. Muestra:

“Como la población es menor de 50 tesis se considera como muestra la totalidad de la población” (Parejo, 2013, p.8).

También se consideró como muestra, 48 probetas de concreto convencional (15 x 30 cm), elaboradas con cemento Pacasmayo Tipo I, agregado fino, agregado grueso y agua, con días de curado estándar para las edades 7, 14, 21 y 28 días. Se muestra la tabla de probetas para el estudio de la investigación.

Tabla 14.
Cuadro de diseño de mezcla

F'c diseño Kg/cm²	NÚMERO DE PROBETAS				N° total de probetas
	7 días	14 días	21 días	28 días	
175	3	3	3	3	12
210	3	3	3	3	12
280	3	3	3	3	12
350	3	3	3	3	12

Fuente: Elaboración propia

2.3. Variable, Operacionalización

2.3.1. Variable Dependiente

Variable	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnica de recolección de datos	Instrumento de recolección de datos	Instrumento de medición
Resistencia a la compresión del concreto	Propiedades del agregado	Granulometría del agregado fino y grueso	Ver anexo 1	Observación directa	Formato de análisis granulométrico por tamizado del agregado fino y grueso	Balanzas, estufa y tamices
		Peso Específico del agregado fino y grueso			Formato de peso específico y absorción del agregado fino	Balanza, cesta con malla de alambre, depósito de agua, tamices y estufa
		Absorción del agregado fino y grueso			Formato de peso unitario del agregado fino y grueso	Balanza, recipiente, equipo de calibración, varilla compactadora de acero y pala de mano
		Peso Unitario suelto del agregado fino y grueso				
	Diseño de mezcla	Peso Unitario compactado del agregado fino y grueso	Ver anexo 1	Observación directa	Formato de humedad del agregado fino y grueso	Balanza, horno y recipiente
		Contenido de Humedad del agregado fino y grueso				
		Cantidad de litros de agua por m ³				-----
		Cantidad de kg de cemento por m ³				-----
Propiedades del Concreto	Resistencia a compresión de probetas cilíndricas	Ver anexo 1	Observación directa	formato de ensayo de resistencia a la compresión de testigos cilíndricos de concreto	Máquina de ensayo e indicador de carga	

Fuente: Elaboración propia

2.3.2. Variable independiente

Diseño de un modelo dinámico con redes neuronales artificiales: Estará asistido por el software Matlab, el cual para poder predecir la resistencia a la compresión del concreto necesita de una base de datos.

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad:

2.4.1. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Tabla 15.

Cuadro de Técnicas e Instrumentos de recolección de datos

TECNICAS	INSTRUMENTOS
Técnicas e instrumentos de recolección de datos	Libros, tesis, normativas, guías, artículos.
Elaboración de especímenes	Guía de laboratorio de concreto Reglamento nacional de edificaciones E 060 Fichas de registro de ensayos
Pruebas de laboratorio	Probetas de concreto Máquina de compresión axial
Análisis de laboratorio	Hojas de cálculo de Excel Norma técnica peruana Software de aprendizaje de Redes Neuronales
Procesamiento de datos	Artificiales Matlab

Fuente: Elaboración propia

2.4.2. Validez y confiabilidad de los instrumentos:

La validez y confiabilidad de los instrumentos, es de confiabilidad, ya que se hizo uso del laboratorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Señor de Sipán, que cuenta con materiales y equipos certificados y calibrados con las normas vigentes para la producción de probetas de concreto, así como su ensayo de resistencia a la compresión del concreto.

2.5. Procedimiento de análisis de datos

2.5.1. Diagrama de flujo de proceso

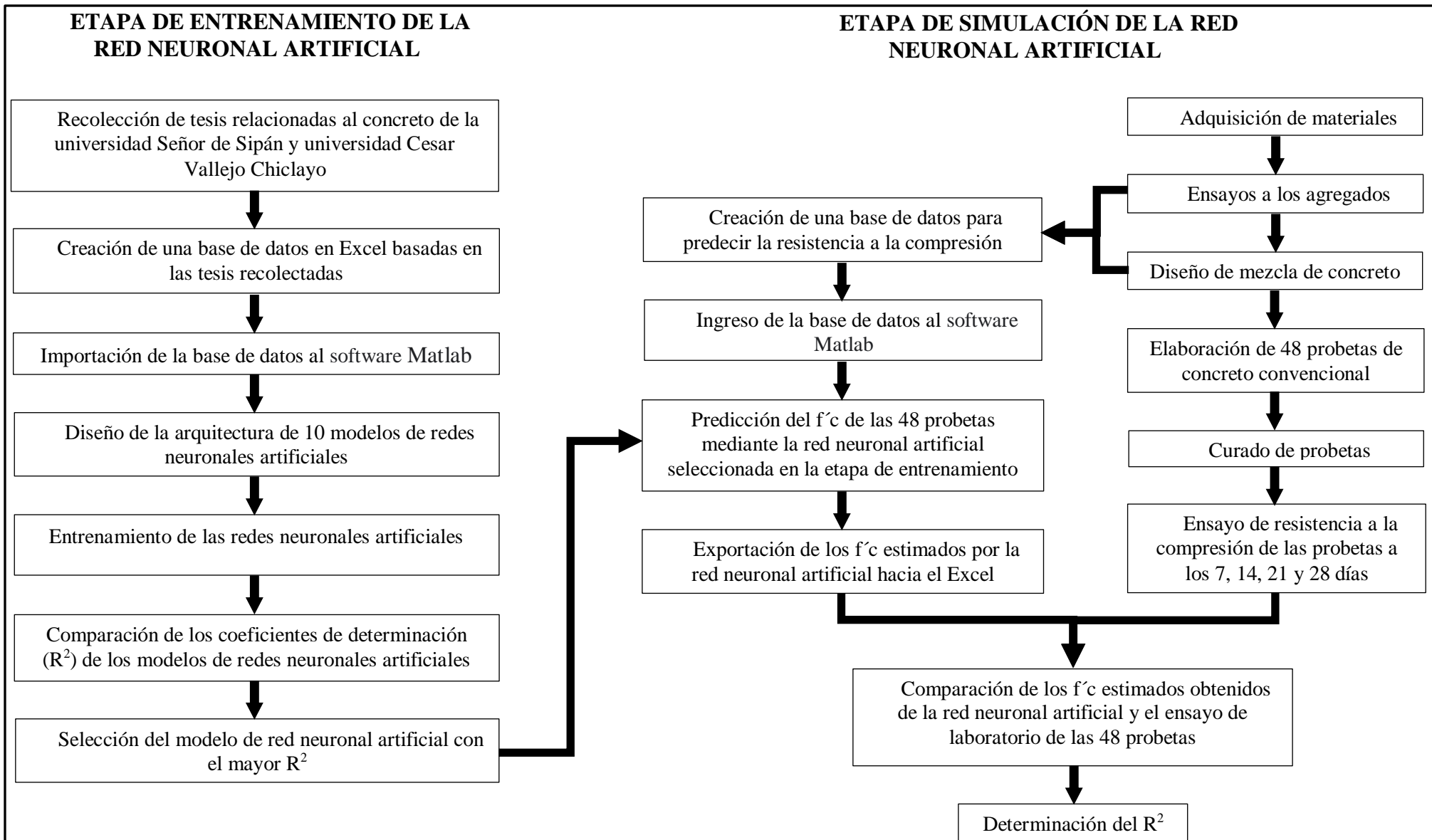


Figura 12. Secuencia para la modelación de la resistencia a la compresión del concreto mediante el Matlab

Fuente: Elaboración propia

2.5.2. Descripción de los procesos

Etapa de entrenamiento:

Para iniciar un modelamiento con la ayuda del software Matlab, con la herramienta nntool, es necesario contar con una base de datos, es por eso que se procedió a investigar en las tesis de los repositorios y bibliotecas de la universidad Señor de Sipán y universidad Cesar Vallejo Chiclayo, sobre todo lo relacionado a ensayos aplicados a agregados fino y grueso y con sus respectivos diseños de mezcla y además las resistencias a compresión de probetas a diferentes edades de curado.

Luego de recolectar estos datos se ingresó este conjunto al Matlab en forma de matriz, con la finalidad que la red Neuronal pueda aprender a relacionar las variables de entrada y la variable de salida, a este proceso se le llama entrenamiento.

Como no existe un procedimiento que permita poder elaborar una red neuronal optima, se diseñaron 10 modelos, cada modelo de red neuronal con diferentes características, los cuales se compararon y se terminó por seleccionar la red_neuronal_09, ya que está presentó un mayor R^2 .

Etapa de simulación:

El modelo de red_neuronal_09 seleccionado en la etapa de entrenamiento, se utilizará para poder predecir la resistencia a la compresión de cuatro diseños de mezcla de concreto de 175, 210, 280 y 350 kg/cm², los $f'c$ estimados se compararán con los $f'c$ de 48 probetas obtenidas en el laboratorio mediante el ensayo en la máquina de compresión.

Para que la red_neuronal_09 pueda predecir el $f'c$ de los diseños de mezcla de concreto mencionados, es necesario preparar una tabla en Excel, conformada por los resultados obtenidos de los ensayos aplicados a los agregados fino y grueso, así como también las cantidades de materiales utilizados de acuerdo a los diseños de mezcla calculados. Una vez elaborada esta nueva base de datos se procederá a importarla al Matlab, y mediante la red_neuronal_09 se procederá a predecir la resistencia a la compresión de dichos diseños de mezcla. A la par también se determinará el $f'c$ de las probetas mediante el ensayo en la máquina de compresión.

Luego se procederá a comparar los $f'c$ estimados obtenidos por la red neuronal, con los $f'c$ reales obtenidos en el laboratorio, para finalmente realizar una correlación lineal en el Excel entre estos 2 resultados, y obtener el R^2 .

Para la elaboración de las probetas se necesitaron los siguientes materiales y realizar los ensayos que se mencionarán a continuación:

2.5.2.1. *Adquisición de Materiales*

Los materiales a utilizar en la presente tesis, se consiguieron de la siguiente forma:

El cemento que se empleó es el Pacasmayo Tipo I, que se obtendrá de Sodimac Constructor.

Los Agregados grueso y fino se obtuvieron de la cantera “La Victoria” Pátapo, Chiclayo.

Los equipos que se utilizaron fueron proporcionados por la Universidad Señor de Sipán, y su uso dependerán de los ensayos.

2.5.2.2. *Ensayos de los agregados*

A) Análisis Granulométrico (NTP 400.012)

El objetivo de este ensayo es determinar numéricamente la repartición de tamaños de las partículas, esto a través de los porcentajes de suelo que atraviesan por las diferentes mallas.

El proceso de tamizado consiste en mover el tamiz de forma horizontal y vertical, esto con la finalidad que el agregado pueda pasar por todas las mallas, y tener así el material retenido por cada tamiz, luego se procede a pesar las cantidades retenidas en cada tamiz, obteniendo así los resultados para graficar la curva granulométrica.

El módulo de fineza se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Módulo de fineza} = \frac{\sum \% \text{ retenido por cada malla}}{100}$$

Ecuación 40. *Módulo de fineza*

Fuente: NTP 400.012, 2001, p.9

B) Peso unitario (N.T.P. 400.017)

Este ensayo consiste en calcular la masa de un volumen unitario de agregado, considerando los vacíos que se forman entre las partículas del agregado.

Procedimiento para determinar el Peso Unitario Suelto

Se deberá calcular el peso del molde a usar, utilizando una balanza y anotar el resultado.

Sobre una superficie lisa, se deberá colocar el molde, llenándolo con una cantidad de agregado hasta sobrepasar el nivel del molde en 2”, para luego pasar una varilla al ras, dejando el agregado al nivel del molde.

Pesar el molde lleno de agregado y anotar el resultado.

Con los datos anotados se procede a calcular el peso unitario suelto.

Este proceso se recomienda realizarlo 2 veces, con la finalidad de obtener un promedio.

Procedimiento para determinar el Peso Unitario Compactado

Anotar el peso del molde.

Llenar el molde con agregado, este proceso se debe realizar en 3 capas, la capa inicial se llena hasta la tercera parte del molde, y luego se debe compactar introduciendo una varilla 25 veces, y golpeando los costados con un martillo de goma en 15 oportunidades. El procedimiento se repite en las 2 siguientes capas del molde.

La última capa sobre pasa el nivel del molde, es por eso que se debe enrazar utilizando una varilla.

Se procede a pesar el molde lleno de agregado y a anotar dicho peso.

Con los datos anotados se procede a determinar el peso unitario compactado.

Este proceso se recomienda realizarlo 2 veces, con la finalidad de obtener un promedio.

$$M = \frac{G - T}{V}$$

Ecuación 41. *Peso Unitario Suelto y Compactado*

Fuente: (Misterio de Transporte y Comunicaciones, 2016, p.300)

Donde:

M = Peso unitario del agregado en kg/m³

G = Peso del molde más el agregado en kg

T = Peso del molde en kg

V = Volumen promedio del molde en m³.

C) Peso Específico y Absorción del agregado fino (NTP 400.022)

El ensayo fue realizado siguiendo las indicaciones de la NTP 400.022 AGREGADOS, esta norma nos da los pasos a seguir para determinar de forma correcta el peso específico y absorción del agregado fino.

Primero se tomó una muestra del agregado fino y se saturó de agua durante 24 horas, con la finalidad de ocupar los espacios o vacíos que se forman (poros).

Pasadas las 24 horas el agua es retirada, se pesa la muestra y se anota este resultado. La muestra se pone en un molde graduado, luego determinar el volumen de la muestra por el método volumétrico.

Posteriormente, se seca la muestra en un horno durante 24 horas y se determina nuevamente la masa.

Con los datos obtenidos y haciendo de las fórmulas descritas a continuación se procede a hallar el peso específico y absorción del agregado fino.

$$P_{em} = \frac{W_0}{V - V_0} \times 100$$

Ecuación 42. *Peso Específico del agregado fino*

Fuente: (Misterio de Transporte y Comunicaciones, 2016, p.310)

$$A_b = \frac{500 - W_0}{W_0} \times 100$$

Ecuación 43. *Porcentaje de Absorción del agregado fino*

Fuente: (Misterio de Transporte y Comunicaciones, 2016, p.310)

Donde:

P_{em} = Peso específico de la muestra

W_0 = Peso en el aire de la muestra secada en el horno g

V = Volumen del frasco en cm^3

V_0 = Peso en gramos o volumen en cm^3 de agua añadida al frasco.

D) Peso Específico y Absorción del agregado grueso (NTP 400.021)

El ensayo fue realizado siguiendo las indicaciones de la NTP 400.021 AGREGADOS, esta norma nos da los pasos a seguir para determinar de forma correcta el peso específico y absorción del agregado grueso.

Se toma una muestra del agregado grueso y se satura de agua durante 24 horas con la finalidad de ocupar los espacios o vacíos que tiene.

Pasadas las 24 horas, se retira el agua, y la muestra se pone a secar, y luego se pesa. Posterior a esto la muestra es puesta en una canastilla sumergida en agua, para luego determinar el volumen.

Como paso final la muestra es colocada en un horno durante 24 horas, con la finalidad de secar de secarla y se pesa nuevamente la muestra.

Con los datos obtenidos y haciendo de las fórmulas descritas a continuación se procede a hallar el peso específico y absorción del agregado grueso.

$$P_{em} = \frac{A}{B - C} \times 100$$

Ecuación 44. *Peso Específico del agregado grueso*

Fuente: (Misterio de Transporte y Comunicaciones, 2016, p.314)

Donde:

A = Peso de la muestra seca en el aire, gramos;

B = Peso de la muestra saturada superficialmente seca en el aire, gramos;

C = Peso en el agua de la muestra saturada.

$$A_b = \frac{B - A}{A} \times 100$$

Ecuación 45. *Porcentaje de Absorción del agregado grueso*

Fuente: (Misterio de Transporte y Comunicaciones, 2016, p.314)

E) Contenido de Humedad (NTP 339.185)

El ensayo fue realizado siguiendo las indicaciones de la NTP 339.185 AGREGADOS. El objetivo del ensayo es determinar el porcentaje de humedad que se evapora por secado en la muestra tomada del agregado fino y grueso.

Se seleccionó una muestra de agregado fino y se colocó sobre un recipiente y se ingresó al horno durante 24 horas. Al siguiente día se saca la muestra del horno y se calcula el contenido de humedad expresado en porcentaje haciendo uso de las fórmulas que se muestran a continuación

$$P = \frac{100(W - D)}{D}$$

Ecuación 46. *Contenido de Humedad*

Fuente: (Misterio de Transporte y Comunicaciones, 2016, p.362)

Donde:

P = Contenido total de humedad total evaporable de la muestra en porcentaje

W = Masa de la muestra húmeda original en gramos

D = Masa de la muestra seca en gramo

2.6. Aspectos éticos:

Las recolecciones de los datos fueron tomadas de manera veraz, no se falsificó ningún dato o resultado, ya que esta información podrá ser usada en el futuro en otras investigaciones.

La presente investigación ha sido realizada con el fin de aportar nuevos conocimientos en la rama del concreto, en el cual, se obtendrán resultados óptimos, tomando en cuenta las Normas Técnicas Peruanas (NTP).

2.7. Criterios de rigor científico:

Se ha tomado en cuenta la validez del contenido, criterio metodológico, de intención, objetividad de medición y observación además de claridad, objetividad, actualidad, consistencia, coherencia y pertinencia.

III. RESULTADOS

3.1. Resultados en tablas y figuras

3.1.1. Elaboración de la base de datos para el diseño de la red neuronal artificial

Los datos que se presentan en la tabla 19 fueron obtenidos de las tesis de titulación de la escuela de ingeniería civil de la universidad Señor de Sipán y universidad Cesar Vallejo Chiclayo publicadas en el repositorio y biblioteca de dichas universidades donde los títulos, autor y año de publicación se presentan en las tablas 17 y 18 respectivamente. De acuerdo a las tablas mencionadas se observa que 9 tesis fueron obtenidas de la biblioteca de la universidad Señor de Sipán y 16 tesis fueron conseguidas del repositorio de dicha universidad. Por otro lado, en la universidad Cesar Vallejo Chiclayo fue donde se encontraron menor cantidad de tesis, las 11 tesis utilizadas se extrajeron del repositorio de dicha universidad.

Las variables de entrada y variable de salida consideradas para la elaboración del modelo de red neuronal artificial, se presentan en la tabla 16:

Tabla 16.*Variables de entrada y salida empleadas para el modelo de red neuronal artificial*

Nº	VARIABLE	CARACTERÍSTICA	UNIDAD
1		F'c de diseño	Kg/cm ²
2		Tipo de cemento	Adimensional
3		Tamaño máximo nominal del agregado grueso	Pulgadas
4		Módulo de Fineza del agregado fino	Adimensional
5		Módulo de Fineza del agregado grueso	Adimensional
6	E	Peso Unitario Suelto del agregado fino	gr/cm ³
7		Peso Unitario Suelto del agregado grueso	gr/cm ³
8	N	Peso Unitario Compactado del agregado fino	gr/cm ³
9		Peso Unitario Compactado del agregado grueso	gr/cm ³
10	T	Peso Específico del agregado fino	gr/cm ³
11		Peso Específico del agregado grueso	gr/cm ³
12	A	Contenido de Humedad del agregado fino	%
13		Contenido de Humedad del agregado grueso	%
14	D	Porcentaje de Absorción del agregado fino	%
15		Porcentaje de Absorción del agregado grueso	%
16	A	Cantidad de cemento	Kg/m ³
17		Cantidad de agua	L/m ³
18		Cantidad de agregado fino	Kg/m ³
19		Cantidad de agregado grueso	Kg/m ³
20		Edad de curado	Días
21	SALIDA	Resistencia a la compresión del concreto	Kg/cm ²

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17.*Tesis utilizadas de la Universidad Señor de Sipán*

Nº	TITULO	AÑO	AUTOR	FUENTE
1	Propuesta de elaboración de concreto de alta resistencia, con el uso de aditivo superplastificante, adiciones de microsilice y cemento portland tipo i, en el departamento de Lambayeque - 2012	2012	Dávila Campos, Edwin Segundo. Sáenz Neria, José María.	biblioteca USS
2	Evaluación comparativa de la resistencia a compresión y a flexión del concreto convencional, concreto con fibra de acero sikafiber cho 80/60 nb, y concreto con fibra sintética sikafiber force pp/pe-700/55	2013	Patazca Rojas, Pedro Ramón. Tafur Bustamante, Jorge	biblioteca USS
3	Estudio comparativo del diseño de mezclas de concreto convencional utilizando diferentes aditivos acelerantes de resistencia; con agregados de las canteras tres tomas y la victoria de la región de Lambayeque	2013	Quispe Zarate, Miluska Rivas Arce, Oscar Luis.	biblioteca USS
4	Estudio comparativo de elementos fabricados de concreto con material reciclado pet (polietileno tereftalato) y de concreto convencional	2014	Benites Guevara, Ronny Alberto Bernilla Carlos, Santos Alejandro	biblioteca USS
5	Propuesta de un diseño de mezcla de concreto utilizando la escoria de acería como reemplazante proporcional del agregado grueso	2014	Elera Balcázar, Cristhian Raúl. Reyna Alva, Elver.	biblioteca USS
6	Comportamiento de la resistencia mecánica del concreto con fibra de bagazo de caña de azúcar	2015	Tarrillo García, Hernán	biblioteca USS
7	Concreto reciclado	2015	Barboza Díaz, Juan Francisco	biblioteca USS
8	Estudio comparativo del concreto convencional y concreto reforzado con fibras de caucho sintético reciclado	2015	Calle Córdova, José Luis	biblioteca USS
9	Efectos de la adición de fibra de polipropileno en las propiedades plásticas y mecánicas del concreto hidráulico	2016	Armas Aguilar, César Hugo	Repositorio USS
10	Comparación del concreto fast track y el concreto convencional para el diseño de pavimentos rígidos	2016	Deza Guzmán, Evelyn Yvett. Yovera Capuñay, Teresa	biblioteca USS
11	Comparación entre el concreto convencional y el concreto con barita en polvo como sustituyente del agregado fino	2016	Mondragón Castillo, Karina Sofia	Repositorio USS
12	Evaluación de las propiedades mecánicas del concreto adicionado con fibra de estopa de coco	2016	Vela Requejo, Luis Gustavo. Yovera León, Rogger Ernesto.	Repositorio USS

13	Estudio de la eficiencia del aditivo sika® cem plastificante en el diseño de mezclas de concreto de alta resistencia utilizando concreto reciclado en Chiclayo – 2017.	2017	Tello Tantaleán, Jhon Brandon	Repositorio USS
14	Análisis comparativo de la resistencia a compresión de un concreto convencional utilizando muestras cilíndricas y cúbicas	2017	Gonzales Medrano, Rocío Liz	Repositorio USS
15	Estimación de la correlación entre la resistencia cilíndrica a la compresión y la velocidad de pulso ultrasónico en el concreto convencional	2017	Gonzales Rentería, Miguel Muñoz Castañeda, Víctor	Repositorio USS
16	Evaluación de las propiedades del concreto con aditivos superplastificantes sikament®-290n y chemament 400 en pavimentos rígidos, Lambayeque. 2018	2018	Huamán Manayay, Ebert Carlos. Llanos Dávila Laddy, Edith.	Repositorio USS
17	Evaluación de las propiedades del concreto con aditivos superplastificantes chemament 400 y sikaplast®-326 en estructuras especiales, Lambayeque. 2018	2018	Mayanga Morales, Antony	Repositorio USS
18	Evaluación de las propiedades del concreto con cemento Pacasmayo, Inka y mochica en edificaciones convencionales, Lambayeque. 2018	2018	Fuentes Quevedo, Eduardo Peralta Segura, Neiver	Repositorio USS
19	Evaluación de las propiedades del concreto con aditivos epóxicos sikadur®-32 y chema epox adhesivo-32 en estructuras adheridas, Lambayeque. 2018	2018	Hurtado Guevara, Vanessa Vásquez Huamán, Frida	Repositorio USS
20	Evaluación de las propiedades mecánicas del concreto adicionando limaduras de acero”	2018	Villalobos Pasapera, Magaly	Repositorio USS
21	Evaluación de la influencia del vidrio reciclado molido como reductor de agregado fino para el diseño de mezclas de concreto en pavimentos urbanos	2018	Ochoa Tapia, Luis Miguel	Repositorio USS
22	Evaluación de las propiedades del concreto con puzolana obtenido del bagazo de caña de azúcar, Cayalti, Lambayeque. 2018	2018	Vásquez Vidaurre, Luis	Repositorio USS
23	Evaluación de la eficiencia de los aditivos sikament tm -140 y chemament 440 en la elaboración de concreto para zonas de clima cálido-desértico en Chiclayo-Lambayeque	2018	Llamo Fustamante, Lenin Smith. Rodríguez Picon, Santos Felipe.	Repositorio USS
24	Comportamiento del concreto a altas temperaturas con material reciclado: polvo de caucho y vidrio sódico cálcico	2019	Castro Montoya, Diana Vanessa	Repositorio USS
25	Estudio de la relación agua/cemento y su influencia en la permeabilidad del concreto 2017	2019	Robles Carrero, Nathaly Priscilla	Repositorio USS

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18.*Tesis utilizadas de la Universidad Cesar Vallejo Chiclayo*

Nº	TITULO	AÑO	AUTOR	FUENTE
1	Sustitución parcial del cemento portland tipo I y tipo V, por residuos calcáreos de concha de abanico en mezclas de concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	2015	Arévalo Valencia, Walther Castillo Román, Robert Elihú	Repositorio UCV - Chiclayo
2	Evaluación de la resistencia a compresión del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ empleando paja de ichu en el distrito de chota, Cajamarca - 2018	2018	Bustamante delgado, Atilano	Repositorio UCV - Chiclayo
3	Determinación del contenido óptimo de fibra de cabuya para mejorar la resistencia a la compresión del concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$	2018	Alarcón Chávez, Victor Miguel	Repositorio UCV - Chiclayo
4	Análisis comparativo de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$, aplicando aditivo superplastificante y reductor de agua en pavimento rígido, calle tumbes sur, cercado de Chiclayo, Lambayeque 2016.	2018	De la cruz Damián, Walter enrique	Repositorio UCV - Chiclayo
5	Estudio de la resistencia a la compresión del concreto 210 kg/cm^2 con ceniza de bagazo de caña de azúcar Pimentel, Chiclayo	2018	Idrogo Pérez, Edinsón Eduardo	Repositorio UCV - Chiclayo
6	Efecto de la incorporación de cal en la resistencia a la compresión del concreto, Cajamarca - 2018	2018	Malca Muñoz, Eduard Michel	Repositorio UCV - Chiclayo
7	Uso del jugo de la agave-americana como aditivo inclusor de aire, en concreto convencional no estructural $f'c=175\text{kg/cm}^2$ en Lambayeque	2018	Salazar Salazar, Pablo Jhunnior	Repositorio UCV - Chiclayo
8	Evaluación de la resistencia en compresión del concreto usado en construcciones informales en la ciudad de Monsefú, Chiclayo.	2019	Cuyate Atencio, Christian David	Repositorio UCV - Chiclayo
9	Análisis de calidad de agregados para el diseño de mezclas de concreto $f'c:210\text{kg/cm}^2$ y $f'c:245\text{kg/cm}^2$, distrito de Bagua-Amazonas - 2018	2019	Abanto Rojas, Elsa	Repositorio UCV - Chiclayo

10	Influencia De La Sustitución Del Agregado Fino Por Conchas De Abanico Trituradas En La Resistencia A Compresión Del Concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$	2019	Ortiz Mendoza, Mariel Esther	Repositorio UCV - Chiclayo
11	Eficiencia de los Aditivos Superplásticos para diseño de mezclas en concreto de alta resistencia ($f'c = 450 \text{ kg/cm}^2$) Chiclayo – Lambayeque	2019	Vera Vilchez, Wilmer	Repositorio UCV - Chiclayo

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19.

Base de datos para el entrenamiento de la red neuronal artificial

VARIABLES DE ENTRADA																					VARIABLE DE SALIDA
N°	F'c Diseño kg/cm2	cemento	TMN (pulg)	módulo de Fineza A.F	módulo de Fineza A.G	P.U Suelto A.F gr/cm3	P.U Suelto A.G gr/cm3	P.U Compact A.F gr/cm3	P.U Compact A.G gr/cm3	Peso Especific. A.F gr/cm3	Peso Especific. A.G gr/cm3	Contenido Humedad A.F(%)	Contenido Humedad A.G(%)	Absorc. A.F (%)	Absorc. A.G (%)	Cantidad cemento Kg/m3	Cantidad agua L/m3	Cantidad A.F Kg/m3	Cantidad A.G Kg/m3	Edad de curado (días)	F'c (kg/cm2)
1	210	1	0.75	2.93	7.58	1.61	1.36	1.72	1.45	2.53	2.56	0.64	0.11	2.01	1.94	372	242	822	912	7	137.96
2	210	1	0.75	2.93	7.58	1.61	1.36	1.72	1.45	2.53	2.56	0.64	0.11	2.01	1.94	372	242	822	912	14	170.34
3	210	1	0.75	2.93	7.58	1.61	1.36	1.72	1.45	2.53	2.56	0.64	0.11	2.01	1.94	372	242	822	912	28	200.44
4	280	1	0.75	2.93	7.58	1.61	1.36	1.72	1.45	2.53	2.56	0.64	0.11	2.01	1.94	442	238	752	901	7	183.70
5	280	1	0.75	2.93	7.58	1.61	1.36	1.72	1.45	2.53	2.56	0.64	0.11	2.01	1.94	442	238	752	901	14	228.28
6	280	1	0.75	2.93	7.58	1.61	1.36	1.72	1.45	2.53	2.56	0.64	0.11	2.01	1.94	442	238	752	901	28	272.15
7	350	1	0.75	2.93	7.58	1.61	1.36	1.72	1.45	2.53	2.56	0.64	0.11	2.01	1.94	532	237	668	895	7	238.49
8	350	1	0.75	2.93	7.58	1.61	1.36	1.72	1.45	2.53	2.56	0.64	0.11	2.01	1.94	532	237	668	895	14	292.07
9	350	1	0.75	2.93	7.58	1.61	1.36	1.72	1.45	2.53	2.56	0.64	0.11	2.01	1.94	532	237	668	895	28	336.21
10	210	1	0.50	2.93	7.05	1.61	1.43	1.72	1.55	2.53	2.64	0.64	0.60	2.01	1.10	364	249	845	853	7	129.66
11	210	1	0.50	2.93	7.05	1.61	1.43	1.72	1.55	2.53	2.64	0.64	0.60	2.01	1.10	364	249	845	853	14	168.93
12	210	1	0.50	2.93	7.05	1.61	1.43	1.72	1.55	2.53	2.64	0.64	0.60	2.01	1.10	364	249	845	853	28	209.24
13	280	1	0.50	2.93	7.05	1.61	1.43	1.72	1.55	2.53	2.64	0.64	0.60	2.01	1.10	424	245	797	852	7	179.54
14	280	1	0.50	2.93	7.05	1.61	1.43	1.72	1.55	2.53	2.64	0.64	0.60	2.01	1.10	424	245	797	852	14	224.22
15	280	1	0.50	2.93	7.05	1.61	1.43	1.72	1.55	2.53	2.64	0.64	0.60	2.01	1.10	424	245	797	852	28	282.55
16	350	1	0.50	2.93	7.05	1.61	1.43	1.72	1.55	2.53	2.64	0.64	0.60	2.01	1.10	468	225	797	842	7	227.70
17	350	1	0.50	2.93	7.05	1.61	1.43	1.72	1.55	2.53	2.64	0.64	0.60	2.01	1.10	468	225	797	842	14	284.18
18	350	1	0.50	2.93	7.05	1.61	1.43	1.72	1.55	2.53	2.64	0.64	0.60	2.01	1.10	468	225	797	842	28	354.84
19	175	1	0.75	3.44	6.78	1.45	1.43	1.59	1.52	2.45	2.68	1.00	0.70	1.01	0.50	307	217	987	909	7	125.65

20	175	1	0.75	3.44	6.78	1.45	1.43	1.59	1.52	2.45	2.68	1.00	0.70	1.01	0.50	307	217	987	909	14	138.95
21	175	1	0.75	3.44	6.78	1.45	1.43	1.59	1.52	2.45	2.68	1.00	0.70	1.01	0.50	307	217	987	909	21	155.80
22	175	1	0.75	3.44	6.78	1.45	1.43	1.59	1.52	2.45	2.68	1.00	0.70	1.01	0.50	307	217	987	909	28	178.36
23	210	1	0.75	3.44	6.78	1.45	1.43	1.59	1.52	2.45	2.68	1.00	0.70	1.01	0.50	364	227	972	935	7	136.71
24	210	1	0.75	3.44	6.78	1.45	1.43	1.59	1.52	2.45	2.68	1.00	0.70	1.01	0.50	364	227	972	935	14	184.36
25	210	1	0.75	3.44	6.78	1.45	1.43	1.59	1.52	2.45	2.68	1.00	0.70	1.01	0.50	364	227	972	935	21	192.71
26	210	1	0.75	3.44	6.78	1.45	1.43	1.59	1.52	2.45	2.68	1.00	0.70	1.01	0.50	364	227	972	935	28	214.53
27	280	1	0.75	3.44	6.78	1.45	1.43	1.59	1.52	2.45	2.68	1.00	0.70	1.01	0.50	471	235	859	925	7	212.03
28	280	1	0.75	3.44	6.78	1.45	1.43	1.59	1.52	2.45	2.68	1.00	0.70	1.01	0.50	471	235	859	925	14	220.08
29	280	1	0.75	3.44	6.78	1.45	1.43	1.59	1.52	2.45	2.68	1.00	0.70	1.01	0.50	471	235	859	925	21	246.14
30	280	1	0.75	3.44	6.78	1.45	1.43	1.59	1.52	2.45	2.68	1.00	0.70	1.01	0.50	471	235	859	925	28	286.99
31	175	2	0.75	3.10	6.91	1.56	1.46	1.68	1.60	2.56	2.64	0.30	0.50	1.36	1.48	356	270	875	893	7	120.50
32	175	2	0.75	3.10	6.91	1.56	1.46	1.68	1.60	2.56	2.64	0.30	0.50	1.36	1.48	356	270	875	893	14	146.50
33	175	2	0.75	3.10	6.91	1.56	1.46	1.68	1.60	2.56	2.64	0.30	0.50	1.36	1.48	356	270	875	893	28	185.50
34	210	2	0.75	3.10	6.91	1.56	1.46	1.68	1.60	2.56	2.64	0.30	0.50	1.36	1.48	420	281	808	894	7	120.50
35	210	2	0.75	3.10	6.91	1.56	1.46	1.68	1.60	2.56	2.64	0.30	0.50	1.36	1.48	420	281	808	894	14	172.00
36	210	2	0.75	3.10	6.91	1.56	1.46	1.68	1.60	2.56	2.64	0.30	0.50	1.36	1.48	420	281	808	894	28	210.50
37	280	2	0.75	3.10	6.91	1.56	1.46	1.68	1.60	2.56	2.64	0.30	0.50	1.36	1.48	587	300	601	870	7	199.00
38	280	2	0.75	3.10	6.91	1.56	1.46	1.68	1.60	2.56	2.64	0.30	0.50	1.36	1.48	587	300	601	870	14	237.50
39	280	2	0.75	3.10	6.91	1.56	1.46	1.68	1.60	2.56	2.64	0.30	0.50	1.36	1.48	587	300	601	870	28	283.50
40	210	3	1.00	2.50	7.05	1.56	1.42	1.74	1.54	2.54	2.68	1.30	0.52	1.36	0.89	371	225	756	988	7	204.33
41	210	3	1.00	2.50	7.05	1.56	1.42	1.74	1.54	2.54	2.68	1.30	0.52	1.36	0.89	371	225	756	988	14	221.46
42	210	3	1.00	2.50	7.05	1.56	1.42	1.74	1.54	2.54	2.68	1.30	0.52	1.36	0.89	371	225	756	988	21	241.28
43	210	3	1.00	2.50	7.05	1.56	1.42	1.74	1.54	2.54	2.68	1.30	0.52	1.36	0.89	371	225	756	988	28	253.17
44	280	3	1.00	2.50	7.05	1.56	1.42	1.74	1.54	2.54	2.68	1.30	0.52	1.36	0.89	442	225	720	958	7	254.87
45	280	3	1.00	2.50	7.05	1.56	1.42	1.74	1.54	2.54	2.68	1.30	0.52	1.36	0.89	442	225	720	958	14	263.61
46	280	3	1.00	2.50	7.05	1.56	1.42	1.74	1.54	2.54	2.68	1.30	0.52	1.36	0.89	442	225	720	958	21	277.13
47	280	3	1.00	2.50	7.05	1.56	1.42	1.74	1.54	2.54	2.68	1.30	0.52	1.36	0.89	442	225	720	958	28	314.93
48	175	2	0.75	3.17	7.19	1.37	1.39	1.58	1.54	2.50	2.71	2.80	0.60	2.10	0.80	332	204	817	980	7	151.00

49	175	2	0.75	3.17	7.19	1.37	1.39	1.58	1.54	2.50	2.71	2.80	0.60	2.10	0.80	332	204	817	980	14	170.00
50	175	2	0.75	3.17	7.19	1.37	1.39	1.58	1.54	2.50	2.71	2.80	0.60	2.10	0.80	332	204	817	980	28	193.00
51	210	2	0.75	3.17	7.19	1.37	1.39	1.58	1.54	2.50	2.71	2.80	0.60	2.10	0.80	385	210	755	989	7	182.00
52	210	2	0.75	3.17	7.19	1.37	1.39	1.58	1.54	2.50	2.71	2.80	0.60	2.10	0.80	385	210	755	989	14	190.00
53	210	2	0.75	3.17	7.19	1.37	1.39	1.58	1.54	2.50	2.71	2.80	0.60	2.10	0.80	385	210	755	989	28	241.00
54	280	2	0.75	3.17	7.19	1.37	1.39	1.58	1.54	2.50	2.71	2.80	0.60	2.10	0.80	460	210	702	978	7	209.00
55	280	2	0.75	3.17	7.19	1.37	1.39	1.58	1.54	2.50	2.71	2.80	0.60	2.10	0.80	460	210	702	978	14	229.00
56	280	2	0.75	3.17	7.19	1.37	1.39	1.58	1.54	2.50	2.71	2.80	0.60	2.10	0.80	460	210	702	978	28	286.00
57	175	2	0.75	3.17	7.19	1.37	1.39	1.58	1.54	2.50	2.71	2.80	0.60	2.10	0.80	332	204	817	980	7	146.00
58	175	2	0.75	3.17	7.19	1.37	1.39	1.58	1.54	2.50	2.71	2.80	0.60	2.10	0.80	332	204	817	980	14	168.00
59	175	2	0.75	3.17	7.19	1.37	1.39	1.58	1.54	2.50	2.71	2.80	0.60	2.10	0.80	332	204	817	980	28	188.00
60	210	2	0.75	3.17	7.19	1.37	1.39	1.58	1.54	2.50	2.71	2.80	0.60	2.10	0.80	385	210	755	989	7	179.00
61	210	2	0.75	3.17	7.19	1.37	1.39	1.58	1.54	2.50	2.71	2.80	0.60	2.10	0.80	385	210	755	989	14	198.00
62	210	2	0.75	3.17	7.19	1.37	1.39	1.58	1.54	2.50	2.71	2.80	0.60	2.10	0.80	385	210	755	989	28	214.00
63	280	2	0.75	3.17	7.19	1.37	1.39	1.58	1.54	2.50	2.71	2.80	0.60	2.10	0.80	460	210	702	978	7	223.00
64	280	2	0.75	3.17	7.19	1.37	1.39	1.58	1.54	2.50	2.71	2.80	0.60	2.10	0.80	460	210	702	978	14	252.00
65	280	2	0.75	3.17	7.19	1.37	1.39	1.58	1.54	2.50	2.71	2.80	0.60	2.10	0.80	460	210	702	978	28	282.00
66	175	1	0.75	3.17	7.19	1.37	1.39	1.58	1.54	2.50	2.71	2.80	0.60	2.10	0.80	332	204	817	980	7	145.00
67	175	1	0.75	3.17	7.19	1.37	1.39	1.58	1.54	2.50	2.71	2.80	0.60	2.10	0.80	332	204	817	980	14	163.00
68	175	1	0.75	3.17	7.19	1.37	1.39	1.58	1.54	2.50	2.71	2.80	0.60	2.10	0.80	332	204	817	980	28	197.00
69	210	1	0.75	3.17	7.19	1.37	1.39	1.58	1.54	2.50	2.71	2.80	0.60	2.10	0.80	385	210	755	989	7	176.00
70	210	1	0.75	3.17	7.19	1.37	1.39	1.58	1.54	2.50	2.71	2.80	0.60	2.10	0.80	385	210	755	989	14	202.00
71	210	1	0.75	3.17	7.19	1.37	1.39	1.58	1.54	2.50	2.71	2.80	0.60	2.10	0.80	385	210	755	989	28	244.00
72	280	1	0.75	3.17	7.19	1.37	1.39	1.58	1.54	2.50	2.71	2.80	0.60	2.10	0.80	460	210	702	978	7	219.00
73	280	1	0.75	3.17	7.19	1.37	1.39	1.58	1.54	2.50	2.71	2.80	0.60	2.10	0.80	460	210	702	978	14	251.00
74	280	1	0.75	3.17	7.19	1.37	1.39	1.58	1.54	2.50	2.71	2.80	0.60	2.10	0.80	460	210	702	978	28	309.00
75	175	1	0.50	3.04	6.73	1.43	1.41	1.60	1.50	2.46	2.76	2.29	0.81	0.50	0.53	372	234	812	836	3	100.00
76	175	1	0.50	3.04	6.73	1.43	1.41	1.60	1.50	2.46	2.76	2.29	0.81	0.50	0.53	372	234	812	836	7	122.00
77	175	1	0.50	3.04	6.73	1.43	1.41	1.60	1.50	2.46	2.76	2.29	0.81	0.50	0.53	372	234	812	836	14	143.00

78	175	1	0.50	3.04	6.73	1.43	1.41	1.60	1.50	2.46	2.76	2.29	0.81	0.50	0.53	372	234	812	836	28	181.00
79	210	1	0.50	3.04	6.73	1.43	1.41	1.60	1.50	2.46	2.76	2.29	0.81	0.50	0.53	430	240	796	796	3	113.00
80	210	1	0.50	3.04	6.73	1.43	1.41	1.60	1.50	2.46	2.76	2.29	0.81	0.50	0.53	430	240	796	796	7	146.00
81	210	1	0.50	3.04	6.73	1.43	1.41	1.60	1.50	2.46	2.76	2.29	0.81	0.50	0.53	430	240	796	796	14	179.00
82	210	1	0.50	3.04	6.73	1.43	1.41	1.60	1.50	2.46	2.76	2.29	0.81	0.50	0.53	430	240	796	796	28	220.00
83	280	1	0.50	3.04	6.73	1.43	1.41	1.60	1.50	2.46	2.76	2.29	0.81	0.50	0.53	505	235	742	796	3	154.00
84	280	1	0.50	3.04	6.73	1.43	1.41	1.60	1.50	2.46	2.76	2.29	0.81	0.50	0.53	505	235	742	796	7	200.00
85	280	1	0.50	3.04	6.73	1.43	1.41	1.60	1.50	2.46	2.76	2.29	0.81	0.50	0.53	505	235	742	796	14	245.00
86	280	1	0.50	3.04	6.73	1.43	1.41	1.60	1.50	2.46	2.76	2.29	0.81	0.50	0.53	505	235	742	796	28	300.00
87	175	2	0.75	2.78	7.07	1.83	1.37	2.04	1.48	2.32	2.78	0.70	0.60	2.50	1.60	344	245	871	872	7	139.00
88	175	2	0.75	2.78	7.07	1.83	1.37	2.04	1.48	2.32	2.78	0.70	0.60	2.50	1.60	344	245	871	872	14	172.00
89	175	2	0.75	2.78	7.07	1.83	1.37	2.04	1.48	2.32	2.78	0.70	0.60	2.50	1.60	344	245	871	872	28	196.00
90	210	2	0.75	2.78	7.07	1.83	1.37	2.04	1.48	2.32	2.78	0.70	0.60	2.50	1.60	381	243	860	851	7	176.00
91	210	2	0.75	2.78	7.07	1.83	1.37	2.04	1.48	2.32	2.78	0.70	0.60	2.50	1.60	381	243	860	851	14	191.00
92	210	2	0.75	2.78	7.07	1.83	1.37	2.04	1.48	2.32	2.78	0.70	0.60	2.50	1.60	381	243	860	851	28	226.00
93	280	2	0.75	2.78	7.07	1.83	1.37	2.04	1.48	2.32	2.78	0.70	0.60	2.50	1.60	467	229	799	801	7	202.00
94	280	2	0.75	2.78	7.07	1.83	1.37	2.04	1.48	2.32	2.78	0.70	0.60	2.50	1.60	467	229	799	801	14	229.00
95	280	2	0.75	2.78	7.07	1.83	1.37	2.04	1.48	2.32	2.78	0.70	0.60	2.50	1.60	467	229	799	801	28	284.00
96	210	3	0.50	2.93	7.05	1.61	1.43	1.72	1.55	2.53	2.64	0.64	0.56	2.01	1.14	345	224	858	879	7	150.33
97	210	3	0.50	2.93	7.05	1.61	1.43	1.72	1.55	2.53	2.64	0.64	0.56	2.01	1.14	345	224	858	879	14	166.00
98	210	3	0.50	2.93	7.05	1.61	1.43	1.72	1.55	2.53	2.64	0.64	0.56	2.01	1.14	345	224	858	879	28	211.33
99	280	3	0.50	2.93	7.05	1.61	1.43	1.72	1.55	2.53	2.64	0.64	0.56	2.01	1.14	424	245	797	852	7	213.67
100	280	3	0.50	2.93	7.05	1.61	1.43	1.72	1.55	2.53	2.64	0.64	0.56	2.01	1.14	424	245	797	852	14	247.33
101	280	3	0.50	2.93	7.05	1.61	1.43	1.72	1.55	2.53	2.64	0.64	0.56	2.01	1.14	424	245	797	852	28	291.67
102	210	3	0.75	2.75	7.34	1.32	1.39	1.55	1.51	2.48	2.50	1.42	0.40	2.20	1.27	370	221	682	1060	7	175.00
103	210	3	0.75	2.75	7.34	1.32	1.39	1.55	1.51	2.48	2.50	1.42	0.40	2.20	1.27	370	221	682	1060	14	202.00
104	210	3	0.75	2.75	7.34	1.32	1.39	1.55	1.51	2.48	2.50	1.42	0.40	2.20	1.27	370	221	682	1060	28	238.00
105	280	3	0.75	2.75	7.34	1.32	1.39	1.55	1.51	2.48	2.50	1.42	0.40	2.20	1.27	453	218	602	1046	7	222.00
106	280	3	0.75	2.75	7.34	1.32	1.39	1.55	1.51	2.48	2.50	1.42	0.40	2.20	1.27	453	218	602	1046	14	269.00

107	280	3	0.75	2.75	7.34	1.32	1.39	1.55	1.51	2.48	2.50	1.42	0.40	2.20	1.27	453	218	602	1046	28	317.00
108	350	3	0.75	2.75	7.34	1.32	1.39	1.55	1.51	2.48	2.50	1.42	0.40	2.20	1.27	512	209	515	1002	7	270.00
109	350	3	0.75	2.75	7.34	1.32	1.39	1.55	1.51	2.48	2.50	1.42	0.40	2.20	1.27	512	209	515	1002	14	330.00
110	350	3	0.75	2.75	7.34	1.32	1.39	1.55	1.51	2.48	2.50	1.42	0.40	2.20	1.27	512	209	515	1002	28	390.00
111	350	3	0.75	3.45	7.08	1.42	1.37	1.56	1.52	2.50	2.68	2.90	0.40	2.08	0.50	724	312	646	768	7	299.00
112	350	3	0.75	3.45	7.08	1.42	1.37	1.56	1.52	2.50	2.68	2.90	0.40	2.08	0.50	724	312	646	768	14	321.00
113	350	3	0.75	3.45	7.08	1.42	1.37	1.56	1.52	2.50	2.68	2.90	0.40	2.08	0.50	724	312	646	768	28	353.00
114	420	3	0.75	3.45	7.08	1.42	1.37	1.56	1.52	2.50	2.68	2.90	0.40	2.08	0.50	765	316	606	768	7	339.00
115	420	3	0.75	3.45	7.08	1.42	1.37	1.56	1.52	2.50	2.68	2.90	0.40	2.08	0.50	765	316	606	768	14	370.00
116	420	3	0.75	3.45	7.08	1.42	1.37	1.56	1.52	2.50	2.68	2.90	0.40	2.08	0.50	765	316	606	768	28	425.00
117	500	3	0.75	3.45	7.08	1.42	1.37	1.56	1.52	2.50	2.68	2.90	0.40	2.08	0.50	894	295	549	714	7	399.00
118	500	3	0.75	3.45	7.08	1.42	1.37	1.56	1.52	2.50	2.68	2.90	0.40	2.08	0.50	894	295	549	714	14	436.00
119	500	3	0.75	3.45	7.08	1.42	1.37	1.56	1.52	2.50	2.68	2.90	0.40	2.08	0.50	894	295	549	714	28	503.00
120	280	3	0.75	2.83	6.71	1.45	1.45	1.58	1.61	2.58	2.64	1.14	0.57	0.76	1.03	561	283	659	806	3	173.00
121	280	3	0.75	2.83	6.71	1.45	1.45	1.58	1.61	2.58	2.64	1.14	0.57	0.76	1.03	561	283	659	806	7	195.00
122	280	3	0.75	2.83	6.71	1.45	1.45	1.58	1.61	2.58	2.64	1.14	0.57	0.76	1.03	561	283	659	806	14	239.00
123	280	3	0.75	2.83	6.71	1.45	1.45	1.58	1.61	2.58	2.64	1.14	0.57	0.76	1.03	561	283	659	806	28	283.00
124	350	3	0.75	2.83	6.71	1.45	1.45	1.58	1.61	2.58	2.64	1.14	0.57	0.76	1.03	715	309	583	713	3	213.00
125	350	3	0.75	2.83	6.71	1.45	1.45	1.58	1.61	2.58	2.64	1.14	0.57	0.76	1.03	715	309	583	713	7	245.00
126	350	3	0.75	2.83	6.71	1.45	1.45	1.58	1.61	2.58	2.64	1.14	0.57	0.76	1.03	715	309	583	713	14	305.00
127	350	3	0.75	2.83	6.71	1.45	1.45	1.58	1.61	2.58	2.64	1.14	0.57	0.76	1.03	715	309	583	713	28	382.00
128	420	3	0.75	2.83	6.71	1.45	1.45	1.58	1.61	2.58	2.64	1.14	0.57	0.76	1.03	890	325	504	616	3	258.00
129	420	3	0.75	2.83	6.71	1.45	1.45	1.58	1.61	2.58	2.64	1.14	0.57	0.76	1.03	890	325	504	616	7	301.00
130	420	3	0.75	2.83	6.71	1.45	1.45	1.58	1.61	2.58	2.64	1.14	0.57	0.76	1.03	890	325	504	616	14	356.00
131	420	3	0.75	2.83	6.71	1.45	1.45	1.58	1.61	2.58	2.64	1.14	0.57	0.76	1.03	890	325	504	616	28	403.00
132	420	4	0.75	3.24	7.07	1.42	1.40	1.62	1.53	2.53	2.65	1.93	0.57	1.47	1.00	573	229	660	923	7	395.00
133	350	4	0.75	3.24	7.07	1.42	1.40	1.62	1.53	2.53	2.65	1.93	0.57	1.47	1.00	446	223	778	924	7	297.00
134	350	4	0.75	3.24	7.07	1.42	1.40	1.62	1.53	2.53	2.65	1.93	0.57	1.47	1.00	446	223	778	924	14	325.00
135	350	4	0.75	3.24	7.07	1.42	1.40	1.62	1.53	2.53	2.65	1.93	0.57	1.47	1.00	446	223	778	924	28	398.00

136	280	4	0.75	3.24	7.07	1.42	1.40	1.62	1.53	2.53	2.65	1.93	0.57	1.47	1.00	360	216	856	915	7	238.00
137	175	3	0.50	2.93	7.05	1.61	1.43	1.72	1.55	2.53	2.64	0.64	0.56	2.01	1.14	330	248	861	873	7	123.50
138	175	3	0.50	2.93	7.05	1.61	1.43	1.72	1.55	2.53	2.64	0.64	0.56	2.01	1.14	330	248	861	873	14	143.06
139	175	3	0.50	2.93	7.05	1.61	1.43	1.72	1.55	2.53	2.64	0.64	0.56	2.01	1.14	330	248	861	873	21	158.38
140	175	3	0.50	2.93	7.05	1.61	1.43	1.72	1.55	2.53	2.64	0.64	0.56	2.01	1.14	330	248	861	873	28	175.43
141	210	3	0.50	2.93	7.05	1.61	1.43	1.72	1.55	2.53	2.64	0.64	0.56	2.01	1.14	364	249	845	853	7	152.49
142	210	3	0.50	2.93	7.05	1.61	1.43	1.72	1.55	2.53	2.64	0.64	0.56	2.01	1.14	364	249	845	853	14	176.27
143	210	3	0.50	2.93	7.05	1.61	1.43	1.72	1.55	2.53	2.64	0.64	0.56	2.01	1.14	364	249	845	853	21	192.13
144	210	3	0.50	2.93	7.05	1.61	1.43	1.72	1.55	2.53	2.64	0.64	0.56	2.01	1.14	364	249	845	853	28	211.03
145	280	3	0.50	2.93	7.05	1.61	1.43	1.72	1.55	2.53	2.64	0.64	0.56	2.01	1.14	424	245	797	852	7	199.80
146	280	3	0.50	2.93	7.05	1.61	1.43	1.72	1.55	2.53	2.64	0.64	0.56	2.01	1.14	424	245	797	852	14	231.50
147	280	3	0.50	2.93	7.05	1.61	1.43	1.72	1.55	2.53	2.64	0.64	0.56	2.01	1.14	424	245	797	852	21	250.90
148	280	3	0.50	2.93	7.05	1.61	1.43	1.72	1.55	2.53	2.64	0.64	0.56	2.01	1.14	424	245	797	852	28	281.41
149	350	3	0.50	2.93	7.05	1.61	1.43	1.72	1.55	2.53	2.64	0.64	0.56	2.01	1.14	468	225	797	842	7	258.83
150	350	3	0.50	2.93	7.05	1.61	1.43	1.72	1.55	2.53	2.64	0.64	0.56	2.01	1.14	468	225	797	842	14	282.78
151	350	3	0.50	2.93	7.05	1.61	1.43	1.72	1.55	2.53	2.64	0.64	0.56	2.01	1.14	468	225	797	842	21	320.34
152	350	3	0.50	2.93	7.05	1.61	1.43	1.72	1.55	2.53	2.64	0.64	0.56	2.01	1.14	468	225	797	842	28	351.68
153	210	3	0.75	2.83	6.71	1.45	1.45	1.58	1.61	2.58	2.64	1.14	0.57	0.76	1.03	490	305	676	826	7	150.67
154	210	3	0.75	2.83	6.71	1.45	1.45	1.58	1.61	2.58	2.64	1.14	0.57	0.76	1.03	490	305	676	826	14	189.67
155	210	3	0.75	2.83	6.71	1.45	1.45	1.58	1.61	2.58	2.64	1.14	0.57	0.76	1.03	490	305	676	826	28	210.00
156	210	3	1.00	2.83	7.86	1.45	1.46	1.58	1.61	2.58	2.59	1.14	0.41	0.76	0.89	417	267	738	902	7	151.00
157	210	3	1.00	2.83	7.86	1.45	1.46	1.58	1.61	2.58	2.59	1.14	0.41	0.76	0.89	417	267	738	902	14	200.33
158	210	3	1.00	2.83	7.86	1.45	1.46	1.58	1.61	2.58	2.59	1.14	0.41	0.76	0.89	417	267	738	902	28	216.33
159	280	3	0.75	2.83	6.71	1.45	1.45	1.58	1.61	2.58	2.64	1.14	0.57	0.76	1.03	612	305	627	766	7	211.00
160	280	3	0.75	2.83	6.71	1.45	1.45	1.58	1.61	2.58	2.64	1.14	0.57	0.76	1.03	612	305	627	766	14	237.00
161	280	3	0.75	2.83	6.71	1.45	1.45	1.58	1.61	2.58	2.64	1.14	0.57	0.76	1.03	612	305	627	766	28	281.67
162	280	3	1.00	2.83	7.86	1.45	1.46	1.58	1.61	2.58	2.59	1.14	0.41	0.76	0.89	592	280	661	808	7	195.33
163	280	3	1.00	2.83	7.86	1.45	1.46	1.58	1.61	2.58	2.59	1.14	0.41	0.76	0.89	592	280	661	808	14	237.00
164	280	3	1.00	2.83	7.86	1.45	1.46	1.58	1.61	2.58	2.59	1.14	0.41	0.76	0.89	592	280	661	808	28	283.67

165	280	2	0.50	2.87	6.92	1.61	1.51	1.77	1.60	2.51	2.64	1.01	0.67	0.81	1.10	553	276	706	874	7	211.00
166	280	2	0.50	2.87	6.92	1.61	1.51	1.77	1.60	2.51	2.64	1.01	0.67	0.81	1.10	553	276	706	874	14	254.00
167	280	2	0.50	2.87	6.92	1.61	1.51	1.77	1.60	2.51	2.64	1.01	0.67	0.81	1.10	553	276	706	874	28	275.00
168	350	2	0.50	2.87	6.92	1.61	1.51	1.77	1.60	2.51	2.64	1.01	0.67	0.81	1.10	618	247	668	832	7	251.00
169	350	2	0.50	2.87	6.92	1.61	1.51	1.77	1.60	2.51	2.64	1.01	0.67	0.81	1.10	618	247	668	832	14	315.00
170	350	2	0.50	2.87	6.92	1.61	1.51	1.77	1.60	2.51	2.64	1.01	0.67	0.81	1.10	618	247	668	832	28	339.00
171	420	2	0.50	2.87	6.92	1.61	1.51	1.77	1.60	2.51	2.64	1.01	0.67	0.81	1.10	743	290	584	711	7	319.00
172	420	2	0.50	2.87	6.92	1.61	1.51	1.77	1.60	2.51	2.64	1.01	0.67	0.81	1.10	743	290	584	711	14	386.00
173	420	2	0.50	2.87	6.92	1.61	1.51	1.77	1.60	2.51	2.64	1.01	0.67	0.81	1.10	743	290	584	711	28	411.00
174	175	2	0.50	2.92	6.86	1.50	1.40	1.63	1.55	2.53	2.70	0.87	0.07	1.01	0.75	339	254	861	926	28	181.82
175	210	2	0.50	2.92	6.86	1.50	1.40	1.63	1.55	2.53	2.70	0.87	0.07	1.01	0.75	364	248	845	924	28	209.95
176	280	2	0.50	2.92	6.86	1.50	1.40	1.63	1.55	2.53	2.70	0.87	0.07	1.01	0.75	442	252	811	875	7	180.52
177	280	2	0.50	2.92	6.86	1.50	1.40	1.63	1.55	2.53	2.70	0.87	0.07	1.01	0.75	442	252	811	875	14	231.96
178	280	2	0.50	2.92	6.86	1.50	1.40	1.63	1.55	2.53	2.70	0.87	0.07	1.01	0.75	442	252	811	875	28	298.82
179	210	1	0.75	2.92	7.05	1.53	1.36	1.70	1.51	2.54	2.64	0.35	0.40	0.81	1.02	342	205	745	898	7	144.00
180	210	1	0.75	2.92	7.05	1.53	1.36	1.70	1.51	2.54	2.64	0.35	0.40	0.81	1.02	342	205	745	898	14	184.00
181	210	1	0.75	2.92	7.05	1.53	1.36	1.70	1.51	2.54	2.64	0.35	0.40	0.81	1.02	342	205	745	898	28	228.00
182	210	2	0.75	2.71	6.72	1.43	1.41	1.65	1.52	2.54	2.64	0.38	0.39	1.19	1.82	363	236	901	869	3	118.00
183	210	2	0.75	2.71	6.72	1.43	1.41	1.65	1.52	2.54	2.64	0.38	0.39	1.19	1.82	363	236	901	869	7	151.50
184	210	2	0.75	2.71	6.72	1.43	1.41	1.65	1.52	2.54	2.64	0.38	0.39	1.19	1.82	363	236	901	869	28	233.00
185	210	1	0.75	2.71	6.72	1.43	1.41	1.65	1.52	2.54	2.64	0.38	0.39	1.19	1.82	363	236	901	869	3	114.00
186	210	1	0.75	2.71	6.72	1.43	1.41	1.65	1.52	2.54	2.64	0.38	0.39	1.19	1.82	363	236	901	869	7	141.00
187	210	1	0.75	2.71	6.72	1.43	1.41	1.65	1.52	2.54	2.64	0.38	0.39	1.19	1.82	363	236	901	869	28	216.50
188	210	2	0.75	2.51	6.94	1.52	1.50	1.73	1.60	2.55	2.61	0.70	0.40	1.40	1.40	341	220	745	987	7	139.81
189	210	2	0.75	2.51	6.94	1.52	1.50	1.73	1.60	2.55	2.61	0.70	0.40	1.40	1.40	341	220	745	987	14	200.58
190	210	2	0.75	2.51	6.94	1.52	1.50	1.73	1.60	2.55	2.61	0.70	0.40	1.40	1.40	341	220	745	987	28	255.27
191	175	2	0.75	2.51	6.94	1.52	1.50	1.73	1.60	2.55	2.61	0.70	0.40	1.40	1.40	311	220	755	1001	7	112.73
192	175	2	0.75	2.51	6.94	1.52	1.50	1.73	1.60	2.55	2.61	0.70	0.40	1.40	1.40	311	220	755	1001	14	158.95
193	175	2	0.75	2.51	6.94	1.52	1.50	1.73	1.60	2.55	2.61	0.70	0.40	1.40	1.40	311	220	755	1001	28	222.65

194	500	3	0.75	3.05	6.74	1.60	1.40	1.74	1.56	2.53	2.67	0.40	0.50	1.20	1.40	847	318	821	357	3	349.33
195	500	3	0.75	3.05	6.74	1.60	1.40	1.74	1.56	2.53	2.67	0.40	0.50	1.20	1.40	847	318	821	357	7	431.67
196	500	3	0.75	3.05	6.74	1.60	1.40	1.74	1.56	2.53	2.67	0.40	0.50	1.20	1.40	847	318	821	357	14	460.00
197	500	3	0.75	3.05	6.74	1.60	1.40	1.74	1.56	2.53	2.67	0.40	0.50	1.20	1.40	847	318	821	357	28	553.33
198	175	3	1.00	2.99	7.16	1.31	1.45	1.57	1.50	2.69	2.71	0.90	0.50	1.40	0.80	330	236	936	914	7	129.10
199	175	3	1.00	2.99	7.16	1.31	1.45	1.57	1.50	2.69	2.71	0.90	0.50	1.40	0.80	330	236	936	914	14	147.70
200	175	3	1.00	2.99	7.16	1.31	1.45	1.57	1.50	2.69	2.71	0.90	0.50	1.40	0.80	330	236	936	914	28	189.32
201	210	3	1.00	2.99	7.16	1.31	1.45	1.57	1.50	2.69	2.71	0.90	0.50	1.40	0.80	353	229	913	908	7	155.16
202	210	3	1.00	2.99	7.16	1.31	1.45	1.57	1.50	2.69	2.71	0.90	0.50	1.40	0.80	353	229	913	908	14	176.01
203	210	3	1.00	2.99	7.16	1.31	1.45	1.57	1.50	2.69	2.71	0.90	0.50	1.40	0.80	353	229	913	908	28	226.36
204	280	3	1.00	2.99	7.16	1.31	1.45	1.57	1.50	2.69	2.71	0.90	0.50	1.40	0.80	415	232	877	890	7	201.84
205	280	3	1.00	2.99	7.16	1.31	1.45	1.57	1.50	2.69	2.71	0.90	0.50	1.40	0.80	415	232	877	890	14	227.41
206	280	3	1.00	2.99	7.16	1.31	1.45	1.57	1.50	2.69	2.71	0.90	0.50	1.40	0.80	415	232	877	890	28	290.32
207	210	1	0.75	2.96	6.82	1.45	1.38	1.65	1.57	2.51	2.70	0.82	0.30	0.99	1.14	369	214	777	948	7	149.82
208	210	1	0.75	2.96	6.82	1.45	1.38	1.65	1.57	2.51	2.70	0.82	0.30	0.99	1.14	369	214	777	948	14	194.72
209	210	1	0.75	2.96	6.82	1.45	1.38	1.65	1.57	2.51	2.70	0.82	0.30	0.99	1.14	369	214	777	948	28	227.61
210	280	1	0.75	2.96	6.82	1.45	1.38	1.65	1.57	2.51	2.70	0.82	0.30	0.99	1.14	422	214	734	948	7	189.79
211	280	1	0.75	2.96	6.82	1.45	1.38	1.65	1.57	2.51	2.70	0.82	0.30	0.99	1.14	422	214	734	948	14	261.08
212	280	1	0.75	2.96	6.82	1.45	1.38	1.65	1.57	2.51	2.70	0.82	0.30	0.99	1.14	422	214	734	948	28	289.45
213	210	1	0.75	3.60	7.11	1.47	1.46	1.72	1.58	2.42	2.73	1.00	0.30	2.20	0.80	331	224	885	864	7	154.70
214	210	1	0.75	3.60	7.11	1.47	1.46	1.72	1.58	2.42	2.73	1.00	0.30	2.20	0.80	331	224	885	864	14	178.70
215	210	1	0.75	3.60	7.11	1.47	1.46	1.72	1.58	2.42	2.73	1.00	0.30	2.20	0.80	331	224	885	864	28	211.70
216	280	1	0.75	3.60	7.11	1.47	1.46	1.72	1.58	2.42	2.73	1.00	0.30	2.20	0.80	476	219	755	853	7	221.70
217	280	1	0.75	3.60	7.11	1.47	1.46	1.72	1.58	2.42	2.73	1.00	0.30	2.20	0.80	476	219	755	853	14	257.70
218	280	1	0.75	3.60	7.11	1.47	1.46	1.72	1.58	2.42	2.73	1.00	0.30	2.20	0.80	476	219	755	853	28	284.30
219	210	1	0.75	2.92	7.13	1.53	1.36	1.70	1.51	2.54	2.64	0.35	0.40	0.81	1.02	342	205	745	898	7	150.00
220	210	1	0.75	2.92	7.13	1.53	1.36	1.70	1.51	2.54	2.64	0.35	0.40	0.81	1.02	342	205	745	898	14	192.00
221	210	1	0.75	2.92	7.13	1.53	1.36	1.70	1.51	2.54	2.64	0.35	0.40	0.81	1.02	342	205	745	898	28	216.00
222	280	2	0.75	3.30	7.58	1.63	1.33	1.76	1.42	2.59	2.56	0.30	0.10	0.80	1.90	554	258	706	827	1	63.61

223	280	2	0.75	3.30	7.58	1.63	1.33	1.76	1.42	2.59	2.56	0.30	0.10	0.80	1.90	554	258	706	827	3	169.37
224	280	2	0.75	3.30	7.58	1.63	1.33	1.76	1.42	2.59	2.56	0.30	0.10	0.80	1.90	554	258	706	827	7	202.91
225	280	2	0.75	3.30	7.58	1.63	1.33	1.76	1.42	2.59	2.56	0.30	0.10	0.80	1.90	554	258	706	827	14	263.44
226	280	2	0.75	3.30	7.58	1.63	1.33	1.76	1.42	2.59	2.56	0.30	0.10	0.80	1.90	554	258	706	827	28	319.53
227	300	2	0.75	3.30	7.58	1.63	1.33	1.76	1.42	2.59	2.56	0.30	0.10	0.80	1.90	495	261	790	847	1	77.16
228	300	2	0.75	3.30	7.58	1.63	1.33	1.76	1.42	2.59	2.56	0.30	0.10	0.80	1.90	495	261	790	847	3	176.81
229	300	2	0.75	3.30	7.58	1.63	1.33	1.76	1.42	2.59	2.56	0.30	0.10	0.80	1.90	495	261	790	847	7	227.16
230	300	2	0.75	3.30	7.58	1.63	1.33	1.76	1.42	2.59	2.56	0.30	0.10	0.80	1.90	495	261	790	847	14	289.39
231	300	2	0.75	3.30	7.58	1.63	1.33	1.76	1.42	2.59	2.56	0.30	0.10	0.80	1.90	495	261	790	847	28	373.79
232	350	2	0.75	3.30	7.58	1.63	1.33	1.76	1.42	2.59	2.56	0.30	0.10	0.80	1.90	643	254	661	841	1	82.10
233	350	2	0.75	3.30	7.58	1.63	1.33	1.76	1.42	2.59	2.56	0.30	0.10	0.80	1.90	643	254	661	841	3	189.49
234	350	2	0.75	3.30	7.58	1.63	1.33	1.76	1.42	2.59	2.56	0.30	0.10	0.80	1.90	643	254	661	841	7	252.82
235	350	2	0.75	3.30	7.58	1.63	1.33	1.76	1.42	2.59	2.56	0.30	0.10	0.80	1.90	643	254	661	841	14	292.86
236	350	2	0.75	3.30	7.58	1.63	1.33	1.76	1.42	2.59	2.56	0.30	0.10	0.80	1.90	643	254	661	841	28	393.70
237	210	3	0.50	3.87	7.13	1.37	1.40	1.53	1.55	2.48	2.65	2.24	3.02	1.98	0.63	387	197	970	710	7	135.49
238	210	3	0.50	3.87	7.13	1.37	1.40	1.53	1.55	2.48	2.65	2.24	3.02	1.98	0.63	387	197	970	710	14	160.81
239	210	3	0.50	3.87	7.13	1.37	1.40	1.53	1.55	2.48	2.65	2.24	3.02	1.98	0.63	387	197	970	710	28	201.90
240	210	3	0.50	2.92	7.07	1.53	1.42	1.65	1.56	2.51	2.67	1.10	0.08	1.87	0.48	387	226	831	840	7	158.11
241	210	3	0.50	2.92	7.07	1.53	1.42	1.65	1.56	2.51	2.67	1.10	0.08	1.87	0.48	387	226	831	840	14	188.46
242	210	3	0.50	2.92	7.07	1.53	1.42	1.65	1.56	2.51	2.67	1.10	0.08	1.87	0.48	387	226	831	840	28	236.89
243	210	3	0.50	2.79	7.24	1.30	1.42	1.41	1.59	2.51	2.67	8.91	0.94	1.87	0.48	387	156	859	882	7	151.71
244	210	3	0.50	2.79	7.24	1.30	1.42	1.41	1.59	2.51	2.67	8.91	0.94	1.87	0.48	387	156	859	882	14	164.57
245	210	3	0.50	2.79	7.24	1.30	1.42	1.41	1.59	2.51	2.67	8.91	0.94	1.87	0.48	387	156	859	882	28	213.13
246	245	3	0.50	3.87	7.13	1.37	1.40	1.53	1.55	2.48	2.65	2.24	3.02	1.98	0.63	424	197	939	710	7	163.48
247	245	3	0.50	3.87	7.13	1.37	1.40	1.53	1.55	2.48	2.65	2.24	3.02	1.98	0.63	424	197	939	710	14	191.63
248	245	3	0.50	3.87	7.13	1.37	1.40	1.53	1.55	2.48	2.65	2.24	3.02	1.98	0.63	424	197	939	710	28	238.42
249	245	3	0.50	2.92	7.07	1.53	1.42	1.65	1.56	2.51	2.67	1.10	0.08	1.87	0.48	424	226	800	840	7	176.13
250	245	3	0.50	2.92	7.07	1.53	1.42	1.65	1.56	2.51	2.67	1.10	0.08	1.87	0.48	424	226	800	840	14	208.67
251	245	3	0.50	2.92	7.07	1.53	1.42	1.65	1.56	2.51	2.67	1.10	0.08	1.87	0.48	424	226	800	840	28	265.15

252	245	3	0.50	2.79	7.24	1.30	1.42	1.41	1.59	2.51	2.67	8.91	0.94	1.87	0.48	424	159	825	882	7	172.94
253	245	3	0.50	2.79	7.24	1.30	1.42	1.41	1.59	2.51	2.67	8.91	0.94	1.87	0.48	424	159	825	882	14	198.87
254	245	3	0.50	2.79	7.24	1.30	1.42	1.41	1.59	2.51	2.67	8.91	0.94	1.87	0.48	424	159	825	882	28	247.62
255	210	3	0.50	2.64	6.89	1.58	1.42	1.67	1.55	2.59	2.52	1.17	0.40	2.04	0.36	387	223	750	878	7	158.41
256	210	3	0.50	2.64	6.89	1.58	1.42	1.67	1.55	2.59	2.52	1.17	0.40	2.04	0.36	387	223	750	878	14	199.47
257	210	3	0.50	2.64	6.89	1.58	1.42	1.67	1.55	2.59	2.52	1.17	0.40	2.04	0.36	387	223	750	878	28	230.66
258	210	3	1.00	2.80	6.99	1.64	1.41	1.81	1.53	2.48	2.63	1.60	0.50	2.60	0.80	346	203	733	1031	3	163.00
259	210	3	1.00	2.80	6.99	1.64	1.41	1.81	1.53	2.48	2.63	1.60	0.50	2.60	0.80	346	203	733	1031	7	210.00
260	210	3	1.00	2.80	6.99	1.64	1.41	1.81	1.53	2.48	2.63	1.60	0.50	2.60	0.80	346	203	733	1031	14	254.33
261	210	3	1.00	2.80	6.99	1.64	1.41	1.81	1.53	2.48	2.63	1.60	0.50	2.60	0.80	346	203	733	1031	21	278.67
262	210	3	1.00	2.80	6.99	1.64	1.41	1.81	1.53	2.48	2.63	1.60	0.50	2.60	0.80	346	203	733	1031	28	342.33
263	210	4	1.00	2.80	6.99	1.64	1.41	1.81	1.53	2.48	2.63	1.60	0.50	2.60	0.80	346	203	733	1031	3	136.67
264	210	4	1.00	2.80	6.99	1.64	1.41	1.81	1.53	2.48	2.63	1.60	0.50	2.60	0.80	346	203	733	1031	7	192.33
265	210	4	1.00	2.80	6.99	1.64	1.41	1.81	1.53	2.48	2.63	1.60	0.50	2.60	0.80	346	203	733	1031	14	223.33
266	210	4	1.00	2.80	6.99	1.64	1.41	1.81	1.53	2.48	2.63	1.60	0.50	2.60	0.80	346	203	733	1031	21	265.00
267	210	4	1.00	2.80	6.99	1.64	1.41	1.81	1.53	2.48	2.63	1.60	0.50	2.60	0.80	346	203	733	1031	28	326.33
268	175	1	0.50	2.92	7.07	1.35	1.38	1.50	1.58	2.60	2.67	0.63	0.32	0.58	0.48	343	217	869	854	7	120.00
269	175	1	0.50	2.92	7.07	1.35	1.38	1.50	1.58	2.60	2.67	0.63	0.32	0.58	0.48	343	217	869	854	14	154.00
270	175	1	0.50	2.92	7.07	1.35	1.38	1.50	1.58	2.60	2.67	0.63	0.32	0.58	0.48	343	217	869	854	28	199.00
271	210	3	0.50	2.64	7.12	1.46	1.42	1.61	1.55	2.55	2.34	1.10	0.60	1.03	1.76	387	226	666	884	7	158.11
272	210	3	0.50	2.64	7.12	1.46	1.42	1.61	1.55	2.55	2.34	1.10	0.60	1.03	1.76	387	226	666	884	14	175.34
273	210	3	0.50	2.64	7.12	1.46	1.42	1.61	1.55	2.55	2.34	1.10	0.60	1.03	1.76	387	226	666	884	28	240.17
274	210	2	0.75	3.19	6.74	1.53	1.48	1.66	1.66	2.52	2.60	0.54	0.28	1.05	0.95	362	232	937	911	3	74.82
275	210	2	0.75	3.19	6.74	1.53	1.48	1.66	1.66	2.52	2.60	0.54	0.28	1.05	0.95	362	232	937	911	7	127.27
276	210	2	0.75	3.19	6.74	1.53	1.48	1.66	1.66	2.52	2.60	0.54	0.28	1.05	0.95	362	232	937	911	14	179.97
277	210	2	0.75	3.19	6.74	1.53	1.48	1.66	1.66	2.52	2.60	0.54	0.28	1.05	0.95	362	232	937	911	28	211.96
278	210	2	0.50	2.44	6.96	1.37	1.44	1.57	1.53	2.62	2.64	1.45	0.47	1.54	1.60	388	227	809	902	7	157.52
279	210	2	0.50	2.44	6.96	1.37	1.44	1.57	1.53	2.62	2.64	1.45	0.47	1.54	1.60	388	227	809	902	14	206.83
280	210	2	0.50	2.44	6.96	1.37	1.44	1.57	1.53	2.62	2.64	1.45	0.47	1.54	1.60	388	227	809	902	28	221.69

281	210	1	0.75	2.96	7.18	1.39	1.42	1.49	1.56	2.53	2.73	1.10	0.08	1.85	0.75	367	217	800	943	7	156.07
282	210	1	0.75	2.96	7.18	1.39	1.42	1.49	1.56	2.53	2.73	1.10	0.08	1.85	0.75	367	217	800	943	14	172.44
283	210	1	0.75	2.96	7.18	1.39	1.42	1.49	1.56	2.53	2.73	1.10	0.08	1.85	0.75	367	217	800	943	28	231.42
284	175	3	0.50	2.84	6.83	1.47	1.38	1.56	1.51	2.52	2.63	2.87	0.82	1.85	0.78	315	245	901	840	7	196.40
285	175	3	0.50	2.84	6.83	1.47	1.38	1.56	1.51	2.52	2.63	2.87	0.82	1.85	0.78	315	245	901	840	14	214.60
286	175	3	0.50	2.84	6.83	1.47	1.38	1.56	1.51	2.52	2.63	2.87	0.82	1.85	0.78	315	245	901	840	28	247.40
287	210	3	0.75	2.93	6.84	1.46	1.39	1.58	1.51	2.53	2.62	2.45	0.30	2.10	0.83	387	218	740	919	7	153.30
288	210	3	0.75	2.93	6.84	1.46	1.39	1.58	1.51	2.53	2.62	2.45	0.30	2.10	0.83	387	218	740	919	14	184.76
289	210	3	0.75	2.93	6.84	1.46	1.39	1.58	1.51	2.53	2.62	2.45	0.30	2.10	0.83	387	218	740	919	28	215.84
290	450	3	0.75	2.91	6.93	1.28	1.33	1.55	1.54	2.49	2.71	1.58	0.72	2.30	1.21	508	239	530	943	7	266.88
291	450	3	0.75	2.91	6.93	1.28	1.33	1.55	1.54	2.49	2.71	1.58	0.72	2.30	1.21	508	239	530	943	14	331.06
292	450	3	0.75	2.91	6.93	1.28	1.33	1.55	1.54	2.49	2.71	1.58	0.72	2.30	1.21	508	239	530	943	28	459.42

Fuente: Elaboración propia

La columna “cemento” en la tabla 20 está representada de forma numérica ya que se trata de una variable cualitativa de la siguiente forma:

Tabla 20.
Representación numérica del cemento

Cemento	Representación numérica
Pacasmayo Extraforte	1
Pacasmayo tipo MS	2
Pacasmayo Portlant tipo I	3
Pacasmayo tipo V	4

Fuente: Elaboración propia

3.1.2. Implementación en Matlab (nntool)

Para el diseño de una red neuronal artificial, se empleará el software Matlab, específicamente la herramienta Neural Network/Data Manager (nntool) la cual nos permite la creación de redes neuronales, dentro de ella encontramos funciones de activación, los algoritmos de formación, números de neuronas, tipo de entrenamiento, numero de capas, etc.

En la Figura 13, se observan los datos que se deben de ingresar al programa.

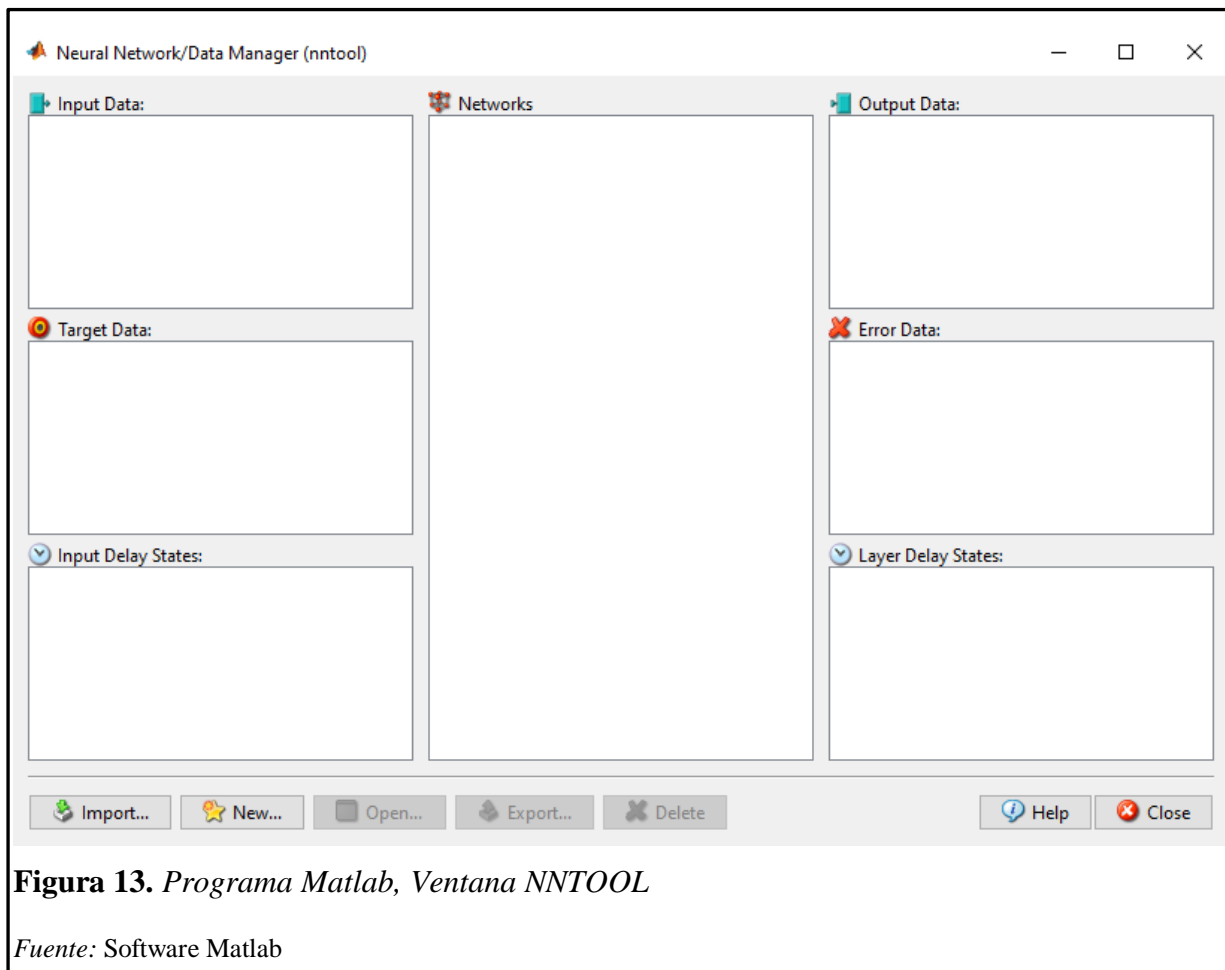


Figura 13. Programa Matlab, Ventana NNTOOL

Fuente: Software Matlab

3.1.3. Implementación del algoritmo Levenberg Marquardt

El Matlab cuenta con una gran cantidad de algoritmos que se pueden utilizar para crear redes neuronales. En este trabajo de investigación se utiliza el algoritmo de Levenberg Marquardt, que es una combinación de los métodos de gradiente decreciente y Newton, el motivo de su uso es que tiene mejor desempeño que los otros algoritmos por separado, entrega una solución numérica al inconveniente de minimizar una función no lineal, además que converge de manera

estable y rápida. La secuencia de pasos a utilizar en el algoritmo Levenberg-Marquardt para la obtención de los pesos sinápticos se detallan a continuación. (Garnica, Gómez, & Pérez, 2018, p.12)

Para $\{p_1, t_1\}; \{p_2, t_2\}; \dots \{p_q, t_q\}$ donde p_i es la entrada y t_i es la salida que se espera obtener se tienen los pasos siguientes:

Paso 1. Definir los pesos sinápticos iniciales “w” de la red neuronal artificial y tomar $\mu = 0.001$

Paso 2. Ingresar todos los vectores de entrada a la red neuronal artificial y determinar sus respectivas salidas.

Paso 3. Calcular el error de cada vector de entrada y el error total.

El error para la entrada p_i es $e_i = t_i - y_i$, donde y_i es la salida obtenida por la red. El error total proporcionado por la red es:

$$E_t(w) = \sum_{i=1}^q e_i^2(w)$$

Paso 4. Se calcula la matriz Jacobiana $J(w)$

Paso 5. Se modifican los pesos con la ecuación 38:

$$w(t+1) = w(t) - [J^t(w).J(w) + \mu I]^{-1}.J^t(w).e(w)$$

Paso 6. Con los nuevos pesos sinápticos hallados se vuelve a determinar el error $E_{t+1}(w)$

Paso 7. Comparar $E_t(w)$ y $E_{t+1}(w)$

Si $E_{t+1}(w) > E_t(w)$, entonces se eliminan los pesos hallados en el paso 5, y se utilizan los pesos de la iteración anterior, además el coeficiente de combinación “ μ ” se aumenta, multiplicándose por 10. Se vuelve al paso 5 y se modifican nuevamente los pesos.

Si $E_{t+1}(w) < E_t(w)$, entonces se aceptan los nuevos pesos y se consideran ahora como pesos actuales, además el coeficiente de combinación “ μ ” se disminuye, dividiéndolo entre 10. Se vuelve al paso 2.

Paso 8. El entrenamiento se detiene cuando los nuevos pesos sinápticos generen un error cuadrático medio (MSE), cuyo valor se aproxime a una meta trazada o también hasta que se alcance otro criterio de parada. (Garnica, Gómez, & Pérez, 2018, p.12)

3.1.4. Modelación de la resistencia a la compresión del concreto con Redes Neuronales artificiales

Se han diseñado 10 redes neuronales artificiales, las cuales han sido creadas y entrenadas con diferentes características en su arquitectura, además se presentarán sus coeficientes de regresión respectivamente, esto permitirá seleccionar la red neuronal artificial con menos margen de error.

A continuación, a modo de ejemplo se mostrará paso a paso el diseño del modelo de Red Neuronal Artificial_09 utilizando el software Matlab.

3.1.4.1. Preparación de la base de datos

Una vez que la base de datos de la tabla 19 ha sido elaborada en Excel, se procede a convertirla en una matriz transpuesta (intercambiar filas y columnas), esto debido a que el software Matlab así lo requiere. Luego la base de datos se divide en dos conjuntos, uno formado por las variables de entrada al cual denominaremos “INPUT” y el otro conjunto formado por la variable de salida al que llamaremos “TARGET”.

INPUT: Registro de las características de los agregados y dosificaciones de mezcla extraídos de la tabla 19 (variables de entrada)

TARGET: Registro de las resistencias a la compresión del concreto extraídos de la tabla 19 (variable de salida)

3.1.4.2. Importación de la base de datos

Primero se abre el software Matlab (versión R2017a), una vez ahí, se procede a importar los conjuntos INPUT y TARGET desde el Excel, recordando que la importación de los datos debe hacerse en forma de matriz numérica.

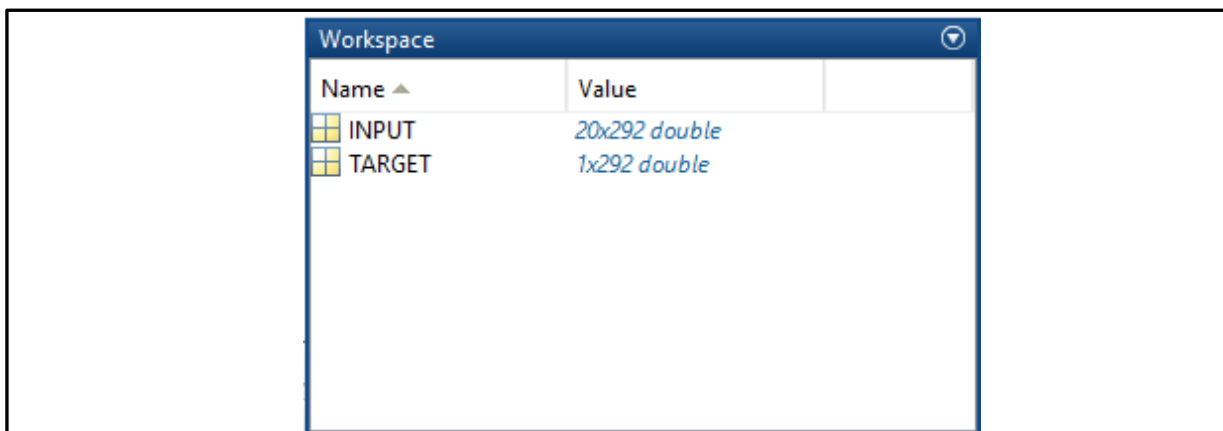


Figura 14. Importación de los conjuntos INPUT y TARGET al Matlab

Fuente: Software Matlab

Los conjuntos importados aparecen en el workspace del Matlab, cada conjunto con su respectivo orden.

El conjunto INPUT es una matriz de orden 20 x 292

El conjunto TARGET es una matriz de orden 1 x 292

3.1.4.3. Construcción de la arquitectura

La herramienta a utilizar en Matlab será el neural network/data manager, el cual se basa en redes neuronales artificiales para realizar predicciones. Para poder emplear esta herramienta se escribe en la ventana de comandos “nntool”, y de forma automática aparecerá una ventana igual al de la figura 15. En esta ventana también se deben de importar los conjuntos INPUT y TARGET, pero desde el workspace.

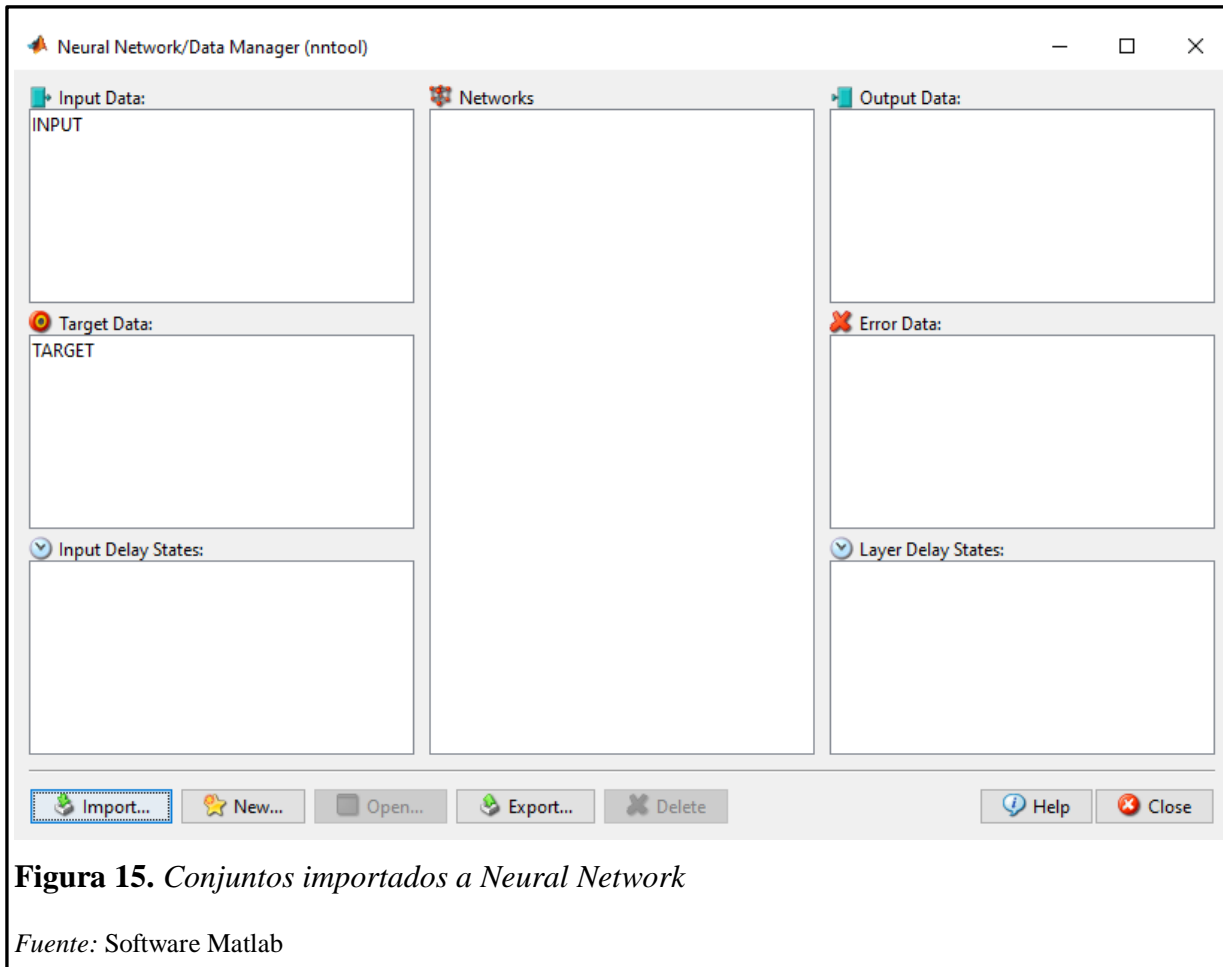


Figura 15. Conjuntos importados a Neural Network

Fuente: Software Matlab

Luego se procede a construir la red neuronal artificial, la cual tiene la siguiente descripción:

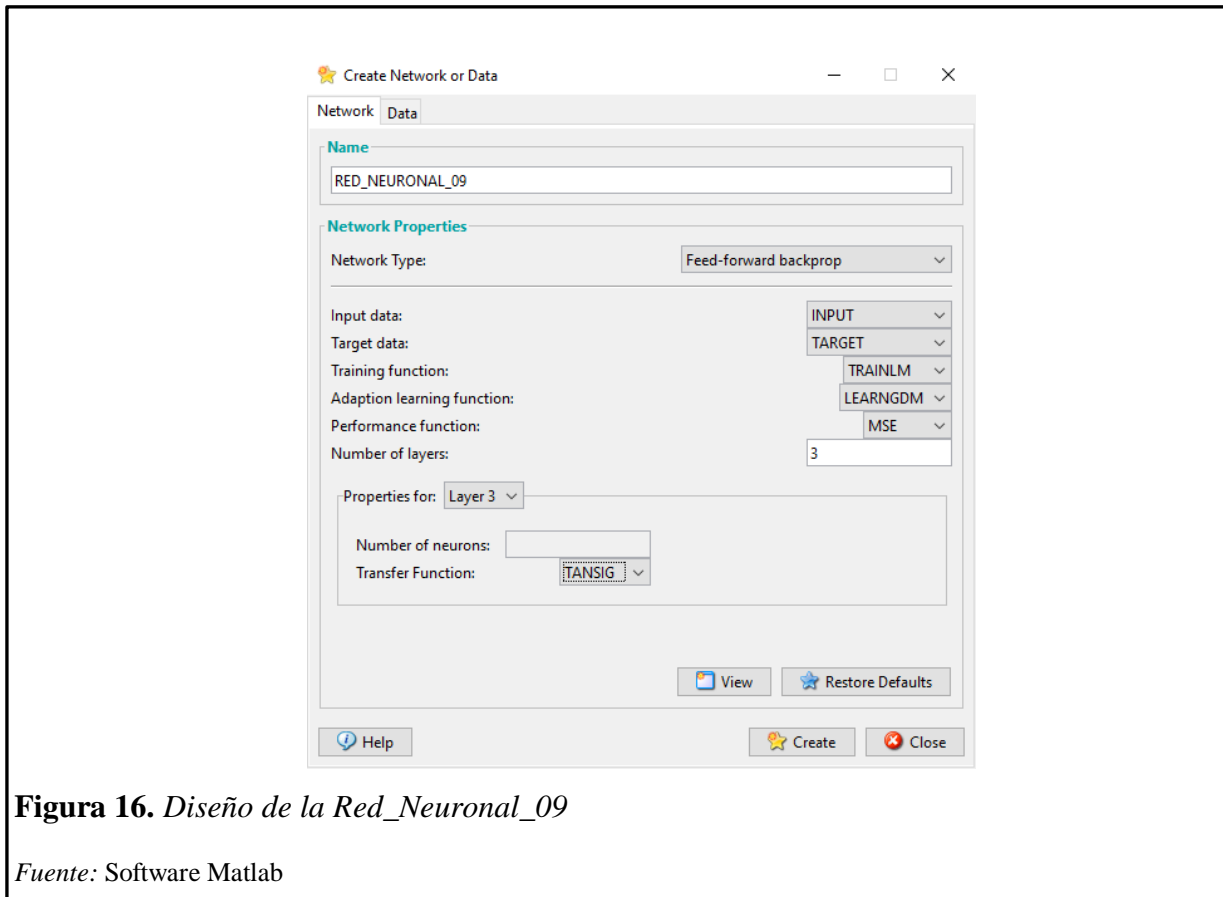
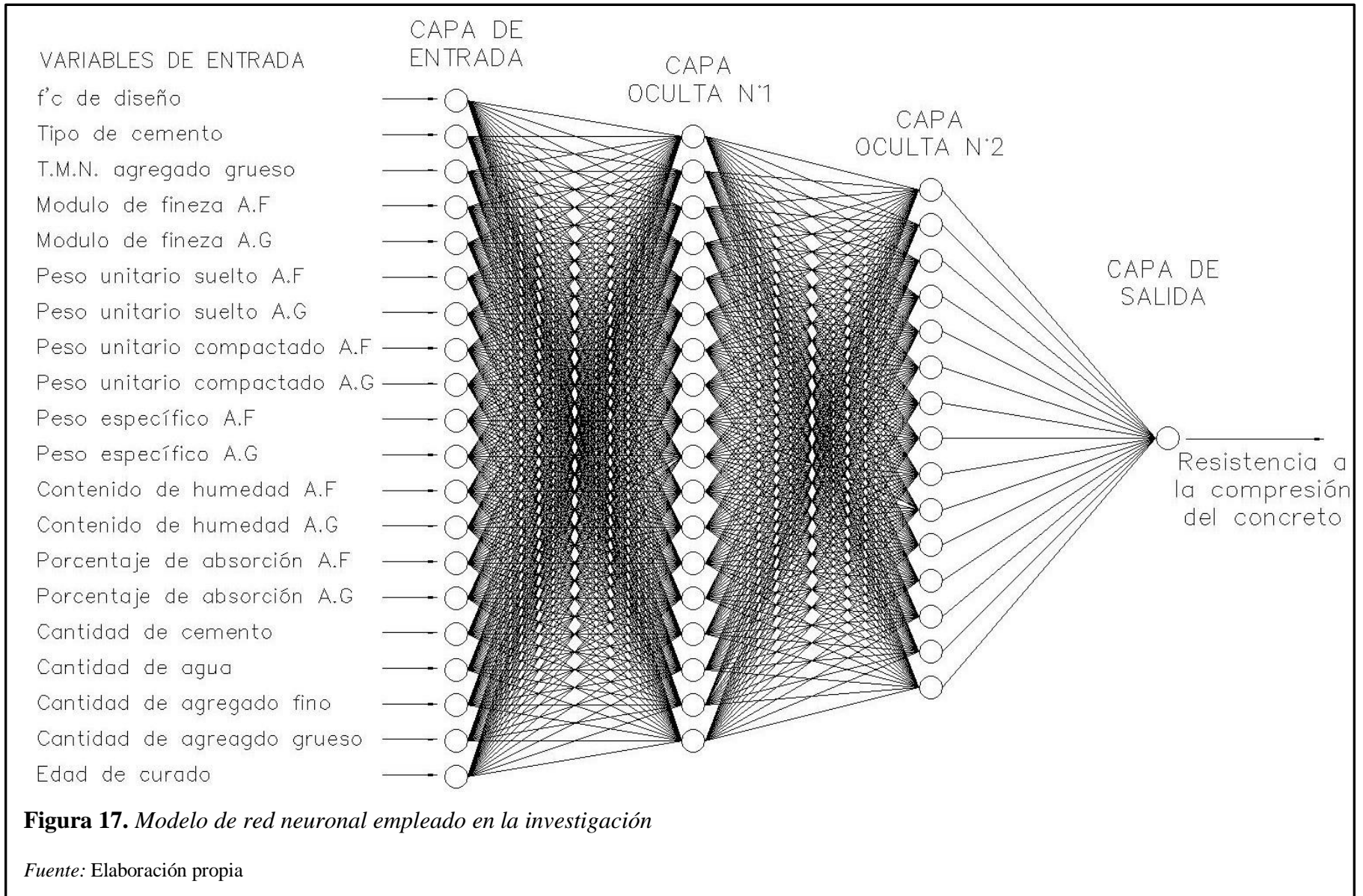


Figura 16. Diseño de la Red_Neuronal_09

Fuente: Software Matlab

- Tipo de red: Feed-forward backpropagation
- Función de entrenamiento: Algoritmo de Levenberg-Marquardt (TRAINLM)
- Función de aprendizaje: Descenso de gradiente con peso de impulso (LEARNGDM)
- Función de desempeño: Error cuadrático medio (MSE)
- Número de capas: 4 (1 de entrada, 2 oculta y 1 de salida)
- Número de neuronas por capa:
- Capa de entrada: 20 neuronas
 - Capa oculta N° 1: 18 neuronas
 - Capa oculta N° 2: 15 neuronas
 - Capa de salida: 1 neurona
- Función de activación:
- Capa oculta 1: función Logaritmo Sigmoidal (LOGSIG)
 - Capa oculta 2: función Logaritmo Sigmoidal (LOGSIG)
 - Capa de salida: función Tangente Sigmoidal (TANSIG)



La figura 17 presenta el modelo de red neuronal empleado en esta investigación, donde se observa que la arquitectura está conformada por 20 neuronas en la capa de entrada, 18 y 15 neuronas en la capa oculta N°1 y N°2 respectivamente, y una neurona en la capa de salida. Más adelante en la etapa de entrenamiento se procederá a calcular los pesos y sesgos.

Luego en la opción view, se puede visualizar el esquema o arquitectura de la red neuronal artificial (figura 18).

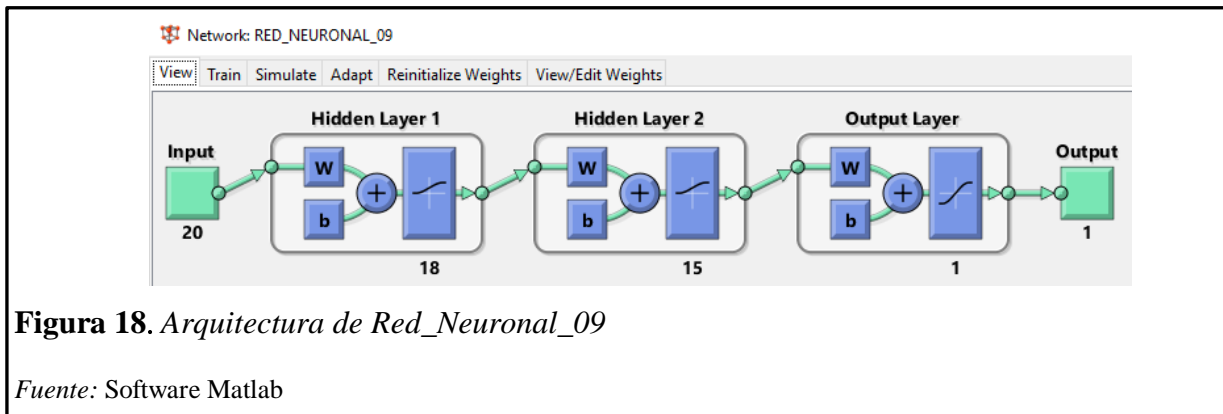


Figura 18. Arquitectura de Red_Neuronal_09

Fuente: Software Matlab

3.1.4.4. Entrenamiento, validación y test de la Red Neuronal Artificial

Para realizar el entrenamiento de la red neuronal se utiliza la opción train, enseguida se cargan los conjuntos INPUT y TARGET respectivamente. Luego se hace clic en la opción train Network, y se inicia el entrenamiento de la red. Se utilizarán los valores de los pesos y bias que se encuentran en la opción view/Edit weights, y que el programa da por defecto (figura 19).



Figura 19. Ventana de configuración para el entrenamiento de la red neuronal

Fuente: Software Matlab

Automáticamente aparecerá una ventana como la de la figura 20, esta es la ventana de entrenamiento de la Red Neuronal_09, la cual muestra 2 gráficos, la evolución del error en función del número de iteraciones y las regresiones lineales de los tres subconjuntos generados por el programa.

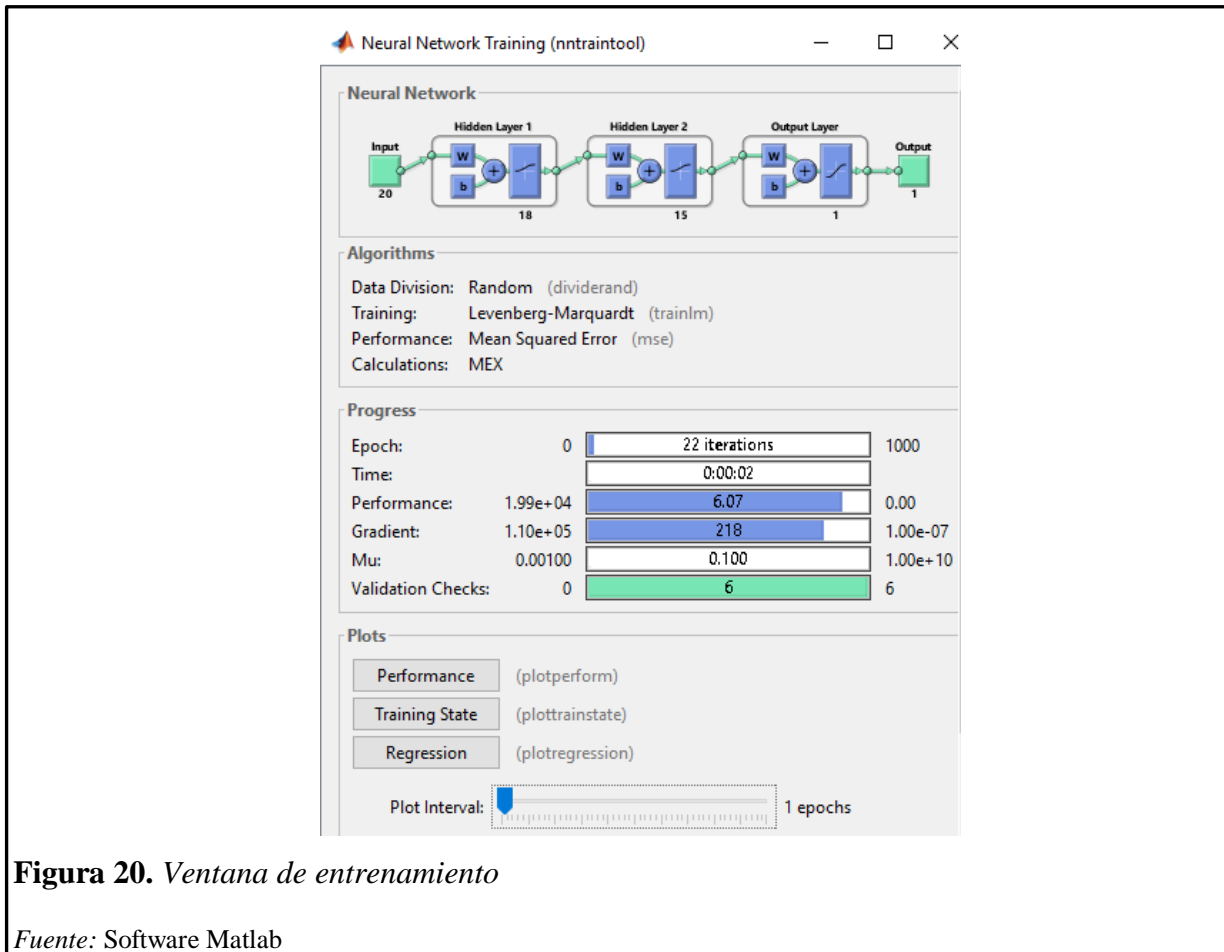


Figura 20. Ventana de entrenamiento

Fuente: Software Matlab

Como se explicó anteriormente el software Matlab, divide por defecto al conjunto INPUT en tres subconjuntos y de manera aleatoria, este procedimiento se encuentra en Matlab con el nombre de “dividerand”, por otro lado, Matlab también posee otros 3 procedimientos para realizar la formación de subconjuntos. (San Miguel Salas, 2016, p.38)

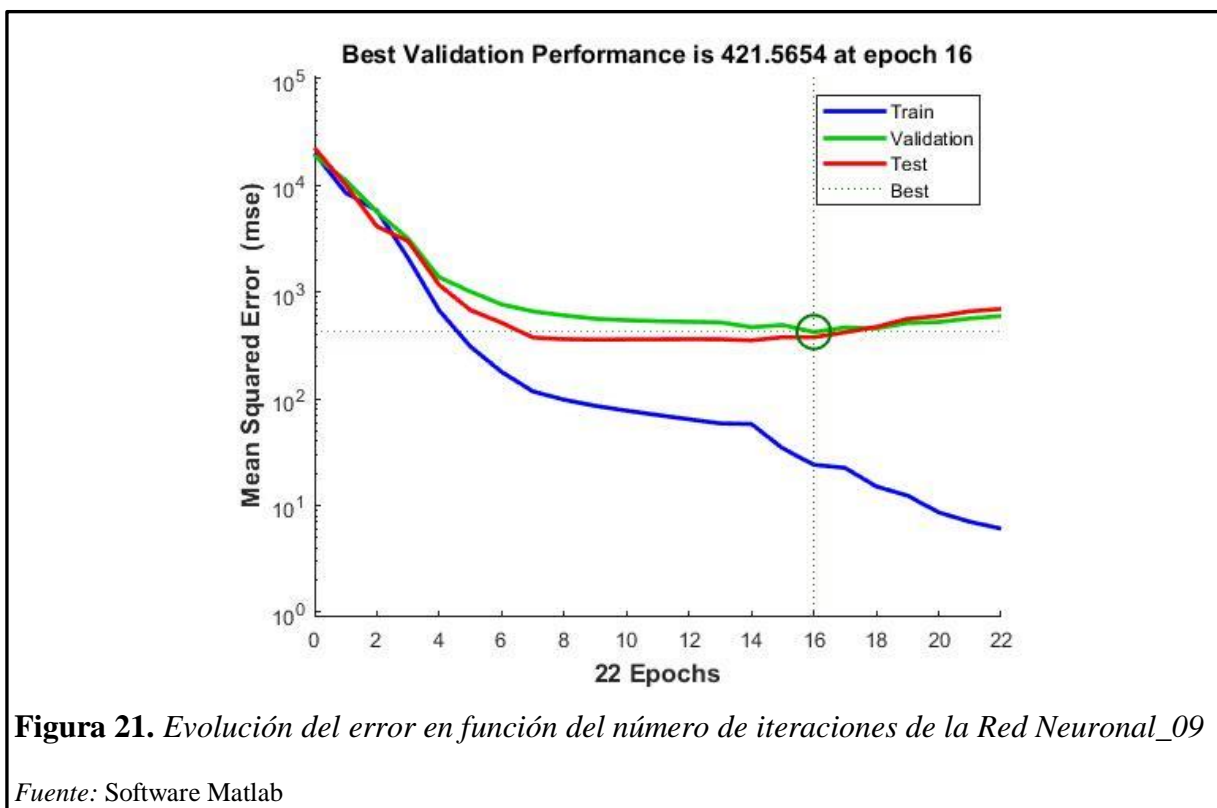
Dividerand divide al conjunto INPUT de la siguiente manera:

Datos para el entrenamiento, conformado por 70% del conjunto INPUT.

Datos para la validación, conformado por el 15% del conjunto INPUT.

Datos para el test, conformado por el 15% del conjunto INPUT.

La figura 21 nos presenta el comportamiento del error medio cuadrático con respecto a las iteraciones de los tres subconjuntos mencionados anteriormente, y se puede observar que el error de los tres subconjuntos disminuye a medida que las iteraciones aumentan, hasta llegar a la iteración N° 16 donde el error cuadrático medio del subconjunto de validación tiene un valor de 421.5654. A partir de esta iteración el error cuadrático medio del subconjunto de validación comienza a aumentar, lo que indica que el proceso de entrenamiento está a punto de terminar. El procedimiento concluye en la iteración N° 22.



La figura 22 nos muestra cuatro gráficas, los tres primeros gráficos son correlaciones lineales entre las resistencias a la compresión del concreto obtenidas de la red neuronal artificial mediante los tres subconjuntos (entrenamiento validación y test) con los datos del conjunto TARGET respectivamente. El cuarto gráfico es una correlación lineal general de los resultados obtenidos del conjunto INPUT mediante la red neuronal y los datos del conjunto TARGET.

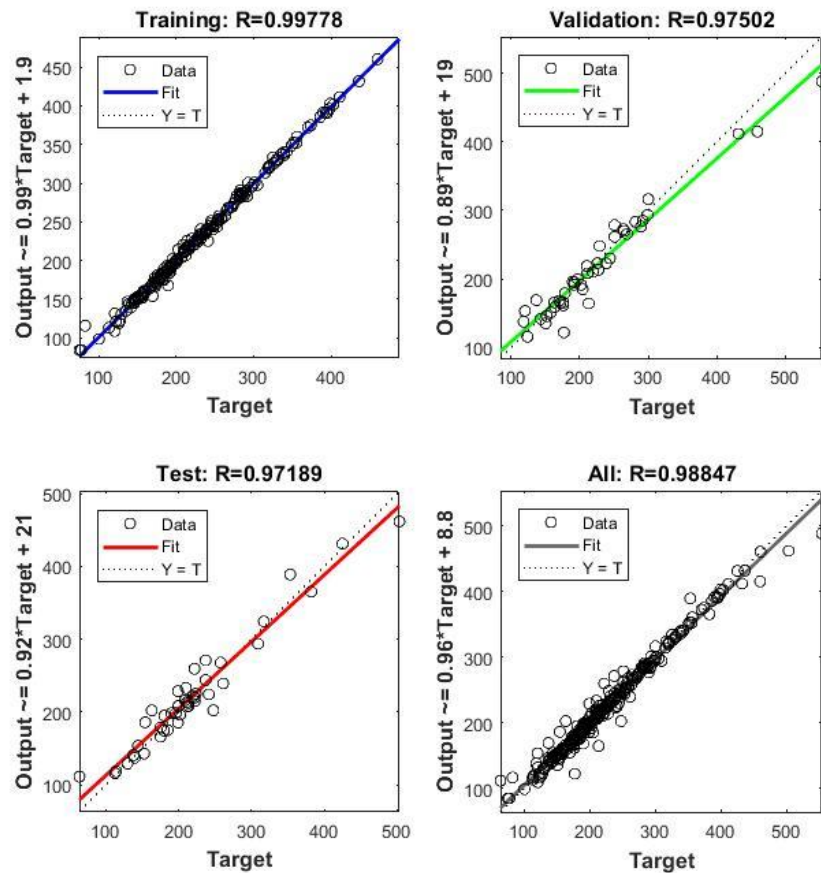


Figura 22. Regresión para los datos de entrenamiento, validación, test y total de datos de la Red Neuronal_09

Fuente: Software Matlab

En el proceso de entrenamiento, se empleó el 70% de los datos, y se puede observar en la figura 22 que los datos están ajustados a la red neuronal, obteniéndose una distribución próxima a la lineal, donde el coeficiente de correlación o prueba estadística “R” es igual 0.99778, lo que indica un comportamiento de entrenamiento óptimo, con nivel de significancia aproximadamente igual al 1%.

Con la finalidad de validar la red neuronal, se emplea el 15% de los registros disponibles, y se puede observar en la figura 22 que los datos se ajustan al modelo de red neuronal propuesto, logrando obtener una distribución próxima a la lineal, donde el coeficiente de correlación “R”

es igual a 0.97502, siendo este resultado un buen indicador del comportamiento del modelo, donde el nivel de significancia es igual aproximadamente al 2%.

El 15% de los datos restantes se utilizan para el proceso de prueba o test; en la figura 22 se puede observar que los datos se ajustan al modelo planteado, teniéndose como resultado un coeficiente de correlación “R” igual a 0.97189, lo cual indica que el modelo de red neuronal tiene un comportamiento aceptable, con un nivel de significancia aproximadamente igual al 3%.

Para finalizar el grafico 22. también muestra el comportamiento general de la red neuronal, tomando todos los resultados obtenidos los procesos de entrenamiento, validación y prueba, donde se puede observar una correcta distribución por parte de los datos, donde el coeficiente de correlación es igual a 0.98847, es decir un nivel de significancia aproximadamente igual al 1%. En conclusión, la red neuronal artificial diseñada, está entrenada y con la capacidad de poder predecir la resistencia a la compresión el concreto con un margen de error del 1% de significancia.

3.1.4.5. Resultados de la Red Neuronal Artificial

Los pesos y sesgos iniciales se han ido modificando a medida que pasan las iteraciones durante el entrenamiento de la Red Neuronal_09. Estos valores finales son los siguientes:

Los pesos que salen desde la capa de entrada, y se dirigen hacia la capa oculta N° 1 son en total 360 conexiones, que se representan de forma numérica como se muestra en la figura 23.

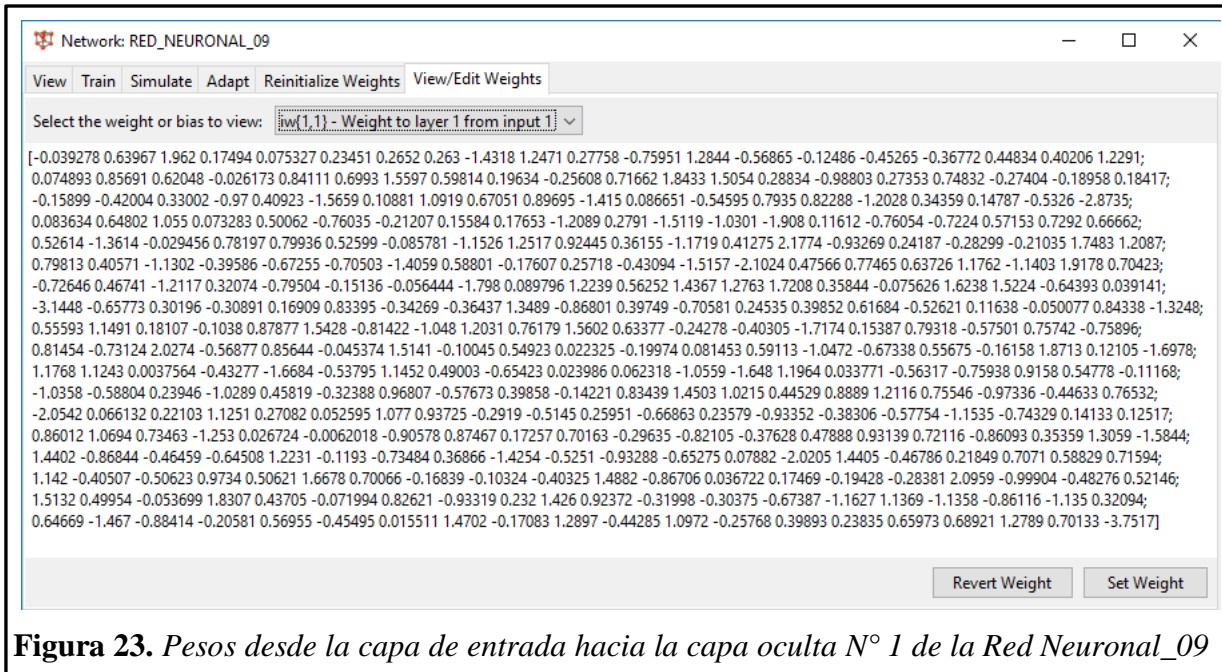


Figura 23. Pesos desde la capa de entrada hacia la capa oculta N° 1 de la Red Neuronal_09

Los pesos que salen desde la capa oculta N° 1, y se dirigen hacia la capa oculta N° 2 son en total 270 conexiones, que se representan de forma numérica como se muestra en la figura 24.

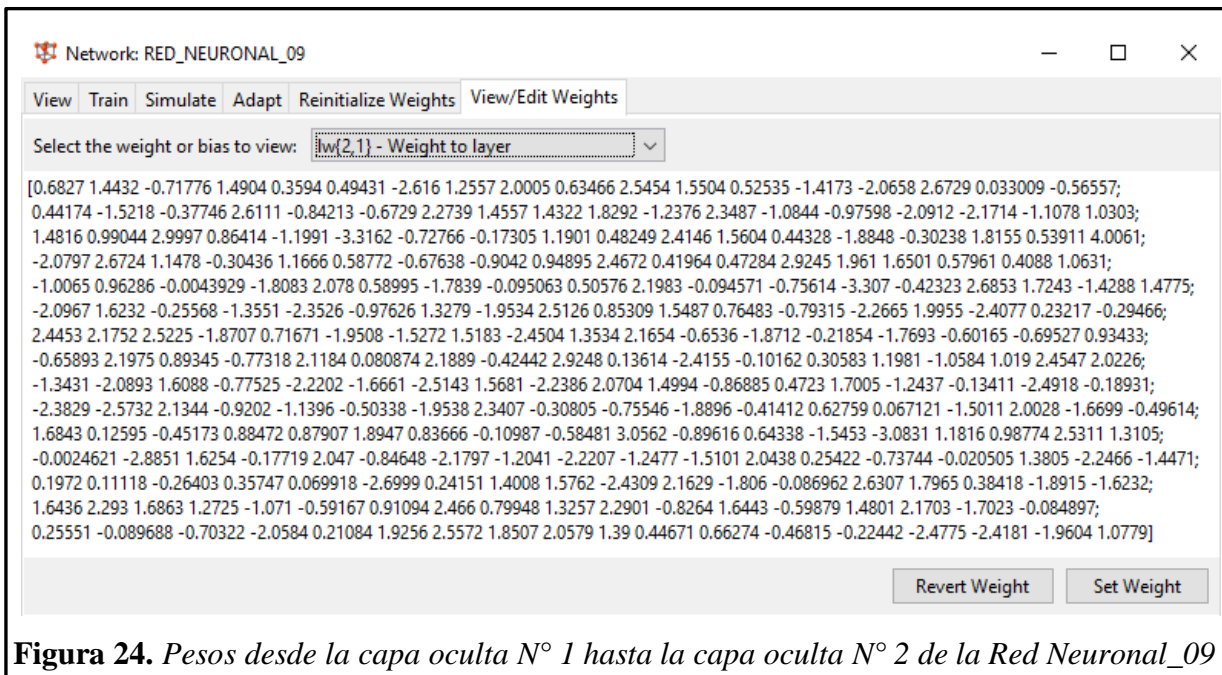


Figura 24. Pesos desde la capa oculta N° 1 hasta la capa oculta N° 2 de la Red Neuronal_09

Los pesos que salen desde la capa oculta N° 2 hacia la capa de salida son en total 15 conexiones, que se representan de forma numérica como se puede observar en la figura 25.

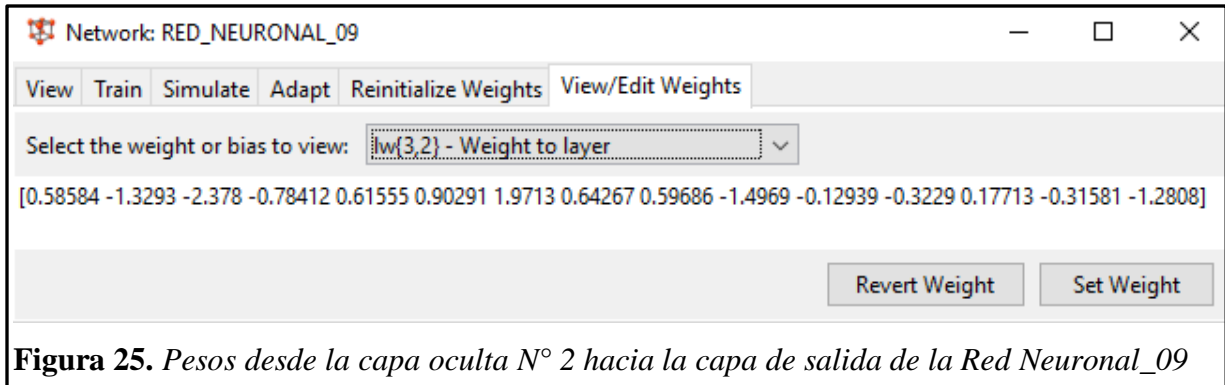


Figura 25. Pesos desde la capa oculta N° 2 hacia la capa de salida de la Red Neuronal_09

Los sesgos o bias que le corresponden a cada neurona de la capa oculta N° 1 son 18, y se presentan en la figura 26.

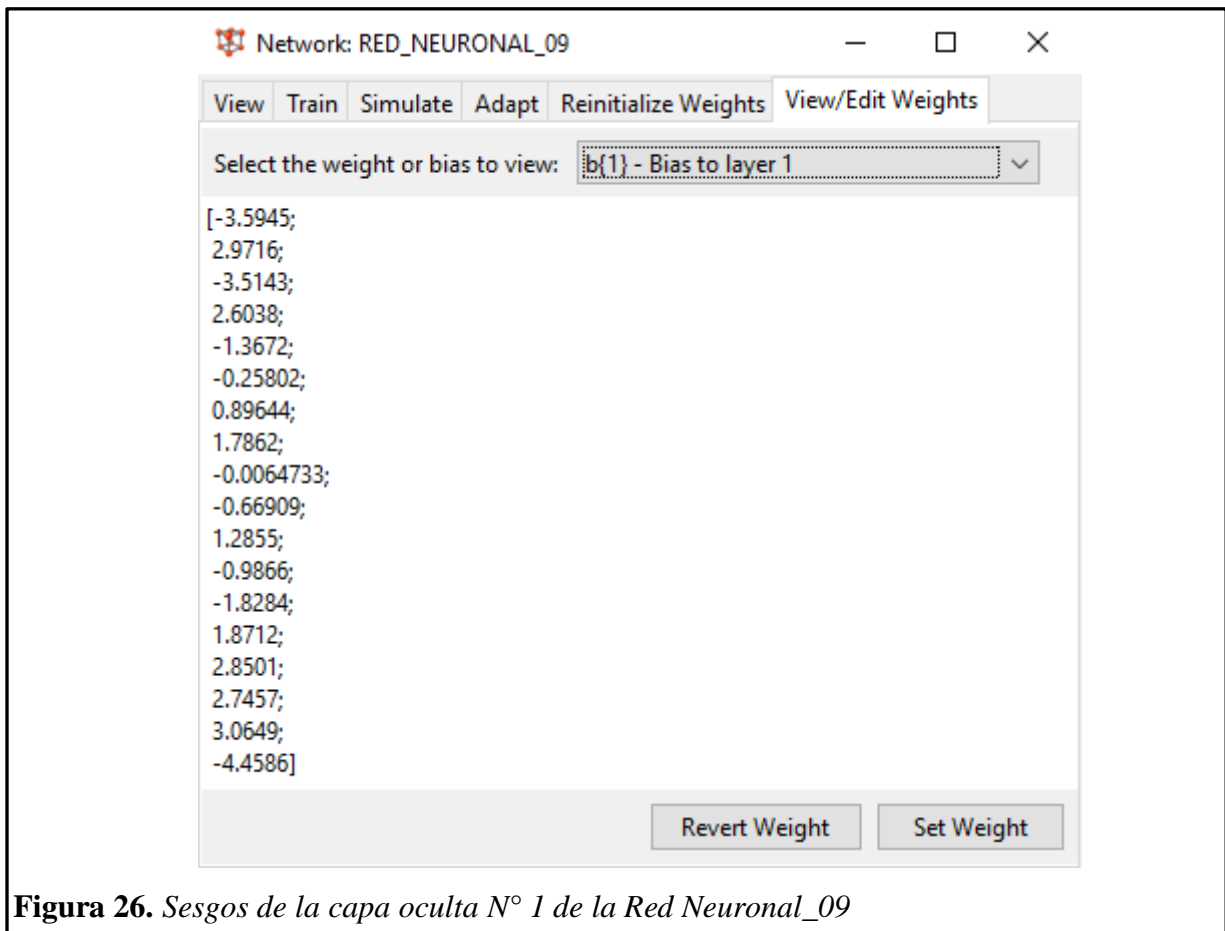
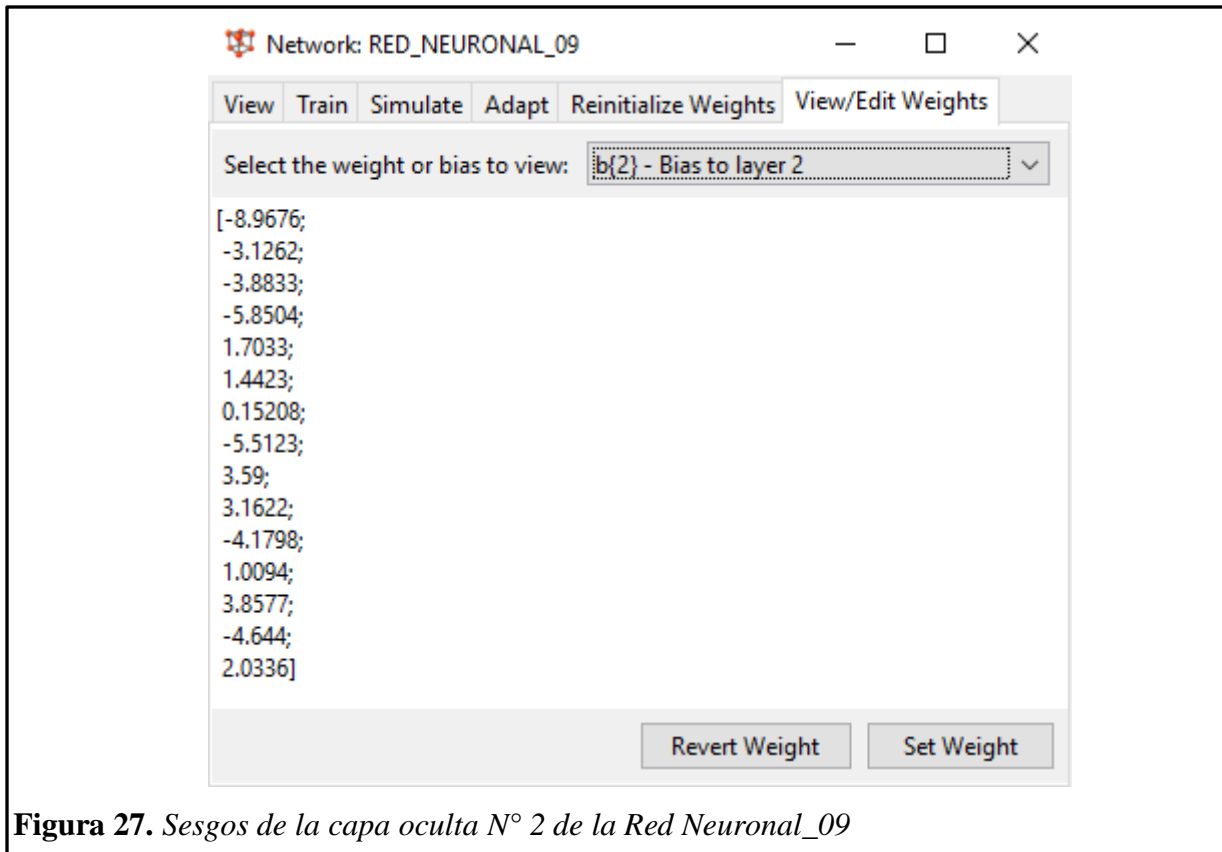
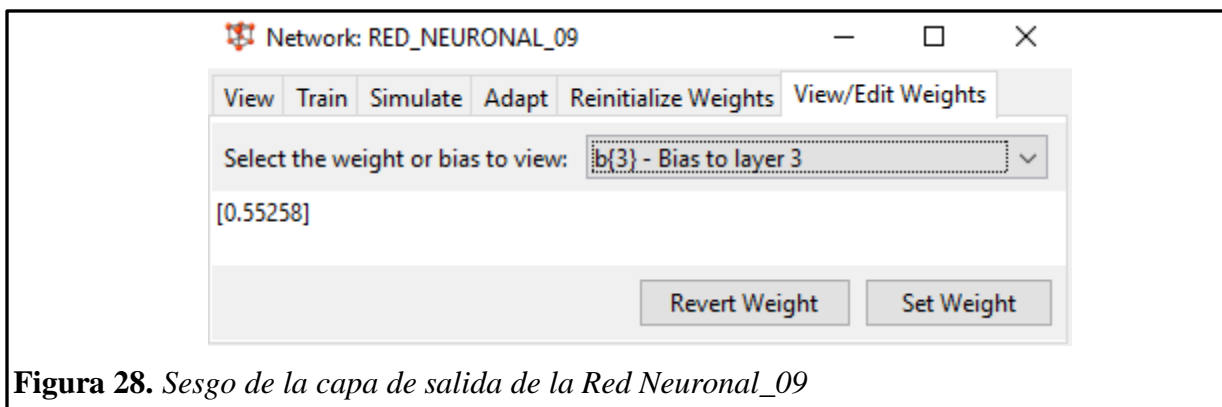


Figura 26. Sesgos de la capa oculta N° 1 de la Red Neuronal_09

Los sesgos o bias que le corresponden a cada neurona de la capa oculta N° 2 son 15, y se presentan en la figura 27.



En la capa de salida solo hay un sesgo o bias debido a que también hay una sola salida. El valor numérico del sesgo se presenta en la figura 28.



La figura 29 nos presenta los valores de las resistencias a la compresión del concreto pronosticadas mediante la Red Neuronal_09 de los 292 registros de la base de datos INPUT vs las resistencias a la compresión reales del conjunto TARGET. El R^2 obtenido es 0.9771.

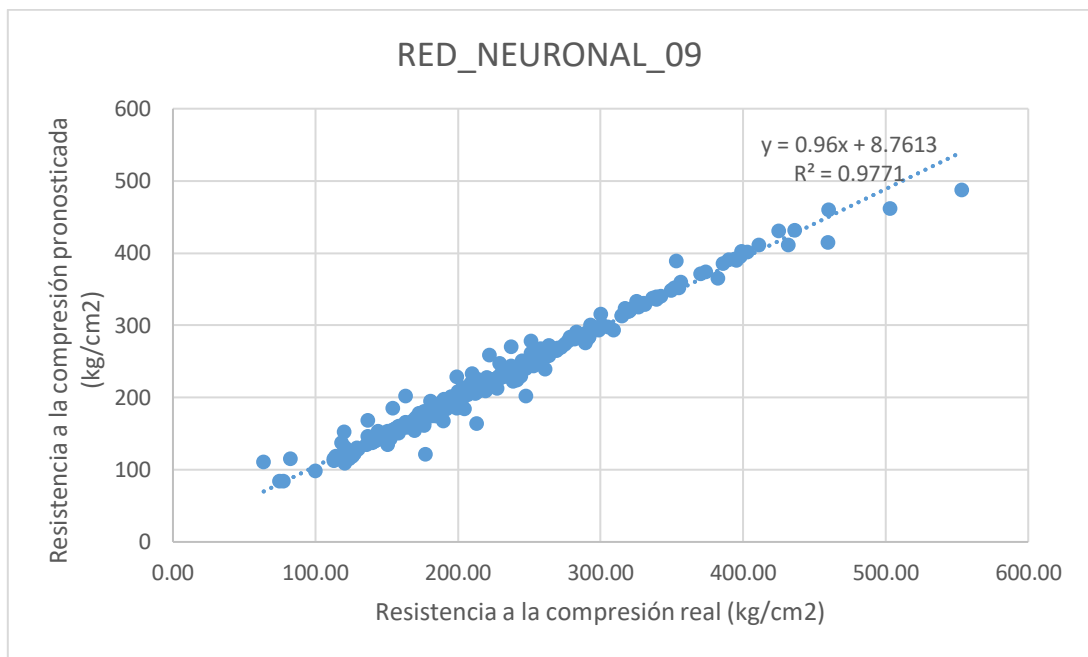


Figura 29. Comparación de las resistencias a la compresión del concreto reales con las pronosticadas mediante la Red Neuronal_09

Fuente: Elaboración propia

3.1.5. Resumen de los Modelos de Redes Neuronales Artificiales diseñados

La tabla 21 nos muestra la arquitectura de cada uno de los 10 modelos de redes neuronales artificiales que se han diseñado, el número de neuronas en la capa de entrada, en la capa oculta y capa de salida, así como también las funciones de activación que se han seleccionado, además se muestran los coeficientes de regresión de cada uno de los subconjuntos de INPUT que la red neuronal crea por defecto para su correcto entrenamiento.

Tabla 21.
Resumen de los modelos de Redes Neuronales Artificiales

RED NEURONAL ARTIFICIAL	ARQUITECTURA/FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA				COEFICIENTE DE REGRESIÓN				R ²
	Capa de entrada	Capa Oculta 1	Capa Oculta 2	Capa de Salida	TRAINING	VALIDATION	TEST	ALL	
RED_NEURONAL_01	20 -----	7 TANSIG	-----	1 TANSIG	0.9910	0.9757	0.9718	0.9847	0.9696
RED_NEURONAL_02	20 -----	10 TANSIG	-----	1 TANSIG	0.9948	0.9747	0.9815	0.9882	0.9765
RED_NEURONAL_03	20 -----	7 PURELIN	-----	1 PURELIN	0.9424	0.9656	0.9477	0.9474	0.8976
RED_NEURONAL_04	20 -----	15 PURELIN	-----	1 PURELIN	0.9506	0.9585	0.9409	0.9475	0.8978
RED_NEURONAL_05	20 -----	7 LOGSIG	-----	1 TANSIG	0.9926	0.9681	0.9687	0.9852	0.9707
RED_NEURONAL_06	20 -----	15 LOGSIG	-----	1 TANSIG	0.9922	0.9575	0.9680	0.9862	0.9725
RED_NEURONAL_07	20 -----	7 TANSIG	10 TANSIG	1 TANSIG	0.9779	0.9658	0.9733	0.9746	0.9497
RED_NEURONAL_08	20 -----	7 LOGSIG	10 LOGSIG	1 TANSIG	0.9922	0.9515	0.9661	0.9817	0.9638
RED_NEURONAL_09	20 -----	18 LOGSIG	15 LOGSIG	1 TANSIG	0.9978	0.9750	0.9719	0.9885	0.9771
RED_NEURONAL_10	20 -----	12 PURELIN	15 LOGSIG	1 TANSIG	0.9714	0.9627	0.9450	0.9662	0.9336

Fuente: Elaboración propia

La red neuronal que mejor R² tiene, es la Red_neuronal_09, por lo tanto, este modelo será utilizado para predecir la resistencia a la compresión de los cuatro diseños de mezclas de concreto elaboradas por el investigador en la etapa de simulación.

3.1.6. Simulación con la Red Neuronal_09

Se procederá ahora a predecir la resistencia a la compresión de 4 diseños de mezcla de concreto (175, 210, 280, 350 kg/cm²) a los 7, 14, 21 y 28 días, elaborados por el investigador, esta predicción se hará mediante la red_neuronal_09 y además se elaborarán 48 probetas de concreto con los diseños de mezcla mencionados, para luego llevarlos a la máquina de compresión y obtener el f'c mediante este ensayo con la finalidad de compararlos con los f'c estimados por la red neuronal.

Para poder estimar el f'c de los 4 diseños de mezcla en la red neuronal_09 es necesario ingresarle al Matlab algunas propiedades de los agregados fino y grueso, así como las cantidades de materiales, los cuales se obtendrán con ensayos realizados por el investigador en el laboratorio de materiales de la universidad Señor de Sipán y de acuerdo a las normas técnicas peruanas.

3.1.6.1. Resultados de los ensayos realizados a los agregados

En la tabla 22 se muestran los resultados de los ensayos aplicados al agregado fino y grueso, dichos ensayos se realizaron en el laboratorio de ensayos de materiales de la Universidad Señor de Sipán, y sirven para poder elaborar los diseños de mezclas de concreto de 175, 210, 280 y 350 kg/cm².

Tabla 22.
Resultados de ensayos realizados a los agregados

Ensayo	Agregado fino	Agregado grueso
Tamaño máximo Nominal	1
Módulo de finura	2.833	7.047
Peso Unitario Seco Suelto (gr/cm ³)	1.586	1.355
Peso Unitario Seco Compactado (gr/cm ³)	1.700	1.480
Peso Específico (gr/cm ³)	2.475	2.686
Humedad (%)	0.74	0.52
Absorción (%)	1.01	0.65

Fuente: Elaboración propia

3.1.6.2. Resumen de la dosificación de los diseños de mezcla

Con los resultados de los ensayos realizados a los agregados se realizaron los diseños de mezcla de concreto de 175, 210, 280 y 350 kg/cm². Las cantidades de materiales que se utilizarán por metro cubico se muestran a continuación en la tabla 23.

Tabla 23.

Resumen de mezcla de concreto

Resistencia de diseño (kg/cm ²)	Cemento (kg/m ³)	Agua (L)	Agregado fino (kg/m ³)	Agregado grueso (kg/m ³)
175	349	219	812	985
210	411	230	768	982
280	466	217	734	995
350	571	226	649	987

Fuente: Elaboración propia

3.1.6.3. Resistencia a la compresión del concreto mediante la Red_neuronal_09

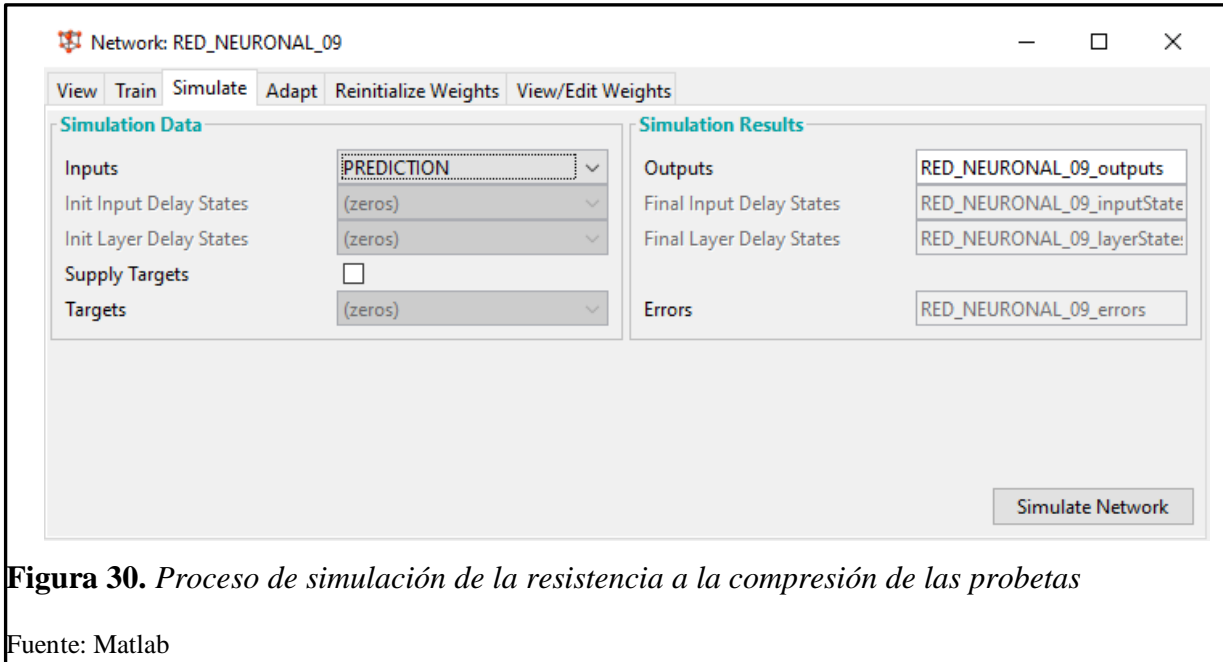
Para poder realizar la predicción de la resistencia a la compresión de los 4 diseños de mezcla de concreto es necesario ingresar al Matlab las mismas variables de entrada que están en la tabla 16. Este conjunto de datos tendrá por nombre “PREDICTION” (Tabla 24), y estará formado por los resultados de los ensayos hechos a los agregados y las dosificaciones de mezclas presentados en las tablas 22 y 23.

Tabla 24.
Conjunto de datos "PREDICTION"

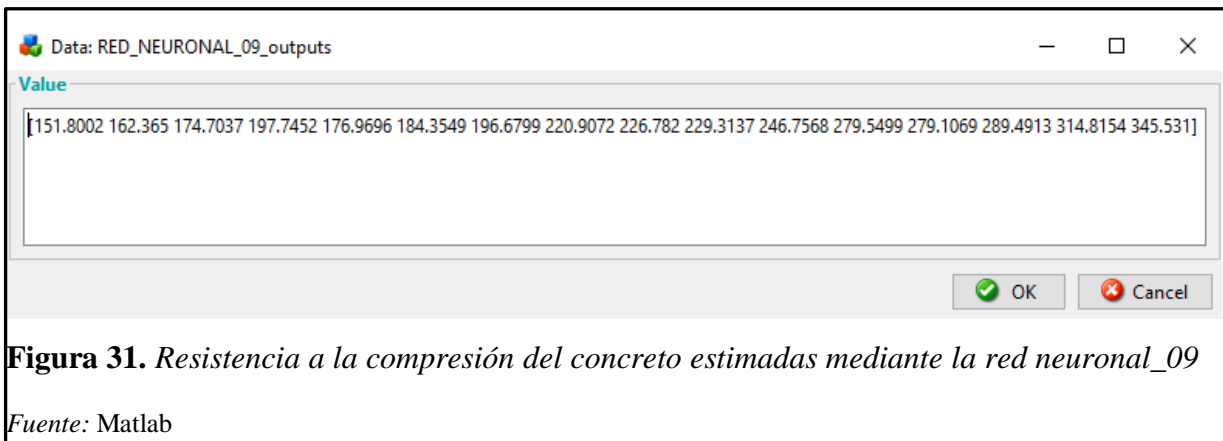
	DISEÑO 175 kg/cm2				DISEÑO 210 kg/cm2				DISEÑO 280 kg/cm2				DISEÑO 350 kg/cm2			
F'c DISEÑO	175	175	175	175	210	210	210	210	280	280	280	280	350	350	350	350
CEMENTO	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
TMN (pulg)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Módulo de Fineza A.F	2.83	2.83	2.83	2.83	2.83	2.83	2.83	2.83	2.83	2.83	2.83	2.83	2.83	2.83	2.83	2.83
Módulo de Fineza A.G	7.05	7.05	7.05	7.05	7.05	7.05	7.05	7.05	7.05	7.05	7.05	7.05	7.05	7.05	7.05	7.05
P.U Suelto A.F(gr/cm3)	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59
P.U Suelto A.G(gr/cm3)	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36
P.U Compactado A.F (gr/cm3)	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70
P.U Compactado A.G(gr/cm3)	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48
P. Especifico A.F(gr/cm3)	2.48	2.48	2.48	2.48	2.48	2.48	2.48	2.48	2.48	2.48	2.48	2.48	2.48	2.48	2.48	2.48
P. Especifico A.G(gr/cm3)	2.69	2.69	2.69	2.69	2.69	2.69	2.69	2.69	2.69	2.69	2.69	2.69	2.69	2.69	2.69	2.69
Contenido Humedad A.F(%)	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74
Contenido Humedad A.G(%)	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52
Absorción A.F (%)	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
Absorción A.G (%)	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65
Cantidad cemento (Kg/m3)	349	349	349	349	411	411	411	411	466	466	466	466	571	571	571	571
Cantidad agua (L/m3)	219	219	219	219	230	230	230	230	217	217	217	217	226	226	226	226
Cantidad A.F (Kg/m3)	812	812	812	812	768	768	768	768	734	734	734	734	649	649	649	649
Cantidad A.G (Kg/m3)	985	985	985	985	982	982	982	982	995	995	995	995	987	987	987	987
Edad de curado (días)	7	14	21	28	7	14	21	28	7	14	21	28	7	14	21	28

Fuente: Elaboración propia

Una vez importada la base de datos “PREDICTION” desde el Excel a la red neuronal_09, se procede a la simulación dando clic al botón Simulate Network.



Luego las resistencias a la compresión del concreto estimadas mediante la red neuronal_09 son las que se muestran en la figura 31.



Estos resultados obtenidos serán llevados al Excel para su posterior análisis y comparación con los resultados obtenidos mediante el ensayo en la máquina de compresión en el laboratorio. (tabla 25)

Tabla 25.*Resistencia a la compresión del concreto mediante la Red_neuronal_09*

Resistencia de diseño (kg/cm ²)	7 días	14 días	21 días	28 días
175	151.8	162.37	174.70	197.75
210	176.97	184.35	196.68	220.91
280	226.78	229.31	246.76	279.55
350	279.11	289.49	314.82	345.53

Fuente: Elaboración propia

3.1.7. Resistencia a la compresión del concreto mediante el ensayo en la máquina de compresión según NTP 339.034

Con la finalidad de verificar los resultados obtenidos en la tabla 25, se han elaborado 48 probetas con los diseños de mezclas antes mencionados, las cuales fueron curadas a edades de 7, 14, 21 y 28 días y sometidas a la máquina de compresión, los resultados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 26.*Resistencia a la compresión del concreto mediante el ensayo con la máquina de compresión*

Resistencia de diseño (kg/cm ²)	7 días	14 días	21 días	28 días
175	133	145	160	182
210	155	179	197	212
280	206	235	253	282
350	263	287	329	356

Fuente: Elaboración Propia

3.1.8. Comparación de $f'c$ entre el ensayo en la máquina de compresión y la Red_neuronal_09

La tabla 27 muestra los resultados logrados anteriormente en las tablas 25 y 26 por los dos procedimientos descritos.

Tabla 27.

Comparación de resultados del ensayo en la máquina de compresión VS Red_neuronal_09

F'c de diseño (kg/cm ²)	Edad (días)	F'c Ensayo en la máquina de compresión (kg/cm ²)	F'c pronosticada con la Red_neuronal_09 (kg/cm ²)
	7	133	151.8
175	14	145	162.37
	21	160	174.70
	28	182	197.75
210	7	155	176.97
	14	179	184.35
	21	197	196.68
	28	212	220.91
280	7	206	226.78
	14	235	229.31
	21	253	246.76
	28	282	279.55
350	7	263	279.11
	14	287	289.49
	21	329	314.82
	28	356	345.53

Fuente: Elaboración propia

3.2. Discusión de resultados

3.2.1. Etapa de entrenamiento

La base de datos que fue elaborada con información de resultados de ensayos mecánicos de agregados, diseños de mezcla de concreto y $f'c$ recolectados de las diferentes tesis de las universidades Señor de Sipán y Cesar Vallejo Chiclayo, sirvió para que poder entrenar una red neuronal artificial, la cual fue construida en el software Matlab, esta base de datos está conformada por 292 registros.

El Matlab dividió esta base de datos en 3 subconjuntos (entrenamiento, validación y test) siendo la red neuronal_09 la que mejor coeficiente de determinación tuvo ($R^2 = 0.9771$) en comparación con los otros 9 modelos presentados. La etapa de entrenamiento arrojó los siguientes resultados:

Tabla 28.

Resultados del proceso de entrenamiento de la red neuronal_09

MODELO	ARQUITECTURA	CONJUNTO	R	R^2	CORRELACION LINEAL
Red Neuronal 09	[20-18-15-1]	Entrenamiento	0.9978	0.9956	$y = 0.99x + 1.9$
		Validación	0.9750	0.9506	$y = 0.89x + 19$
		Test	0.9719	0.9446	$y = 0.92x + 21$
		Base de datos	0.9885	0.9771	$y = 0.96x + 8.8$

Fuente: Elaboración propia

Los resultados indican una relación lineal con un alto coeficiente de regresión entre los $f'c$ descritos en la base de datos de 292 registros (TARGET) y los obtenidos mediante las redes neuronales artificiales (figura 32), lo cual admite concluir que el modelo es adecuado y confiable para realizar dichas estimaciones.

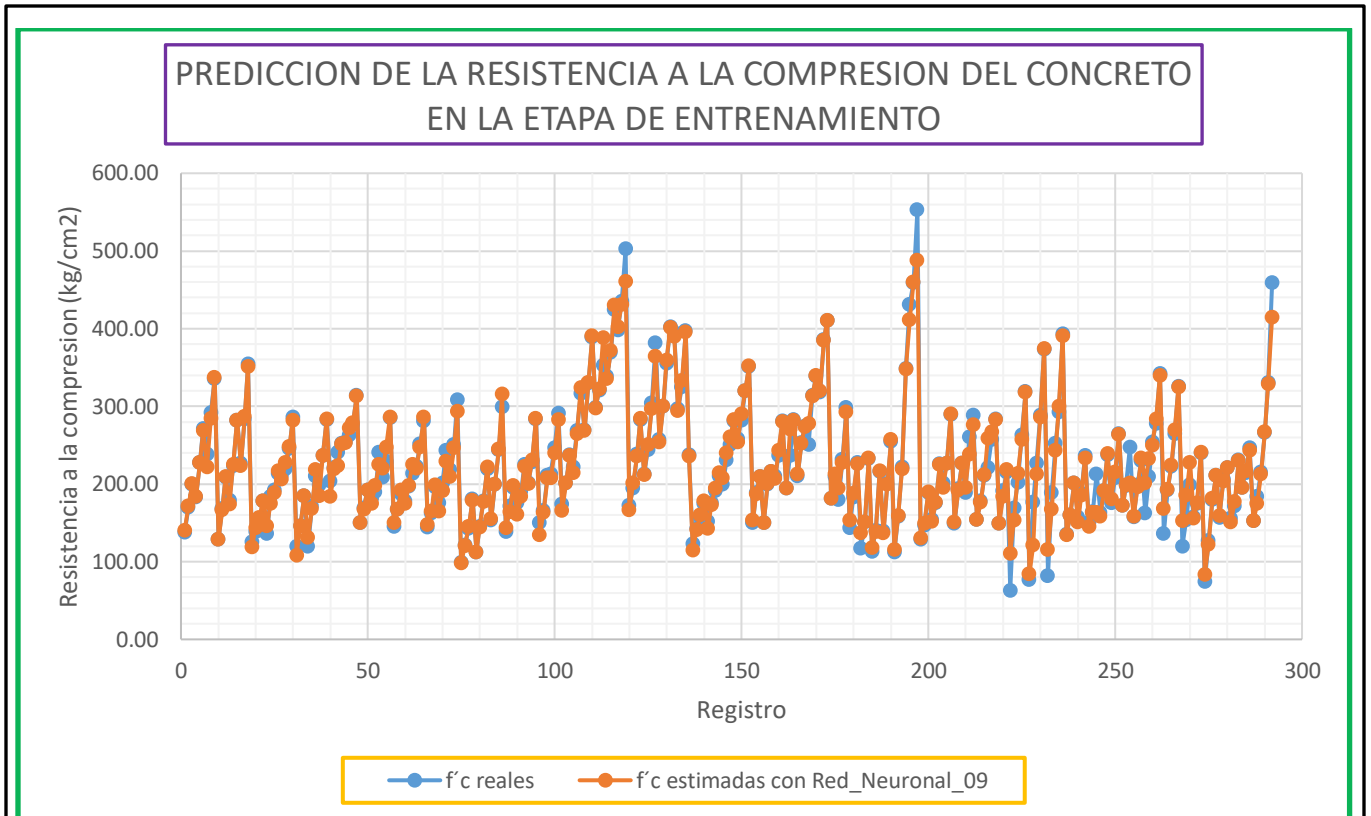


Figura 32. Comparación gráfica de las $f'c$ estimados por la Red_Neuronal_09 y los $f'c$ reales

Fuente: Elaboración propia

3.2.2. Etapa de Simulación

A continuación, se hará una correlación lineal entre los $f'c$ obtenidos por la red neuronal_09 y el ensayo en la máquina de compresión de la tabla 27, para lo cual, se llevan al Excel los datos obtenidos mediante ambas metodologías, en el eje “x” se encuentran las resistencias del concreto a esfuerzos de compresión obtenidas mediante el ensayo con la máquina de compresión, y en el eje “y”, las resistencias obtenidas mediante la Red_Neuronal_09. En la figura 33 se observa un adecuado comportamiento del modelo de red neuronal, donde el coeficiente de determinación (R^2) es igual a 0.9834, es decir su nivel de significancia es cercano a 1%, lo que indica que la Red_neuronal_09 predice de una forma aceptable, la resistencia a la compresión del concreto de los diseños de mezclas elaborados en la presente tesis por el investigador.

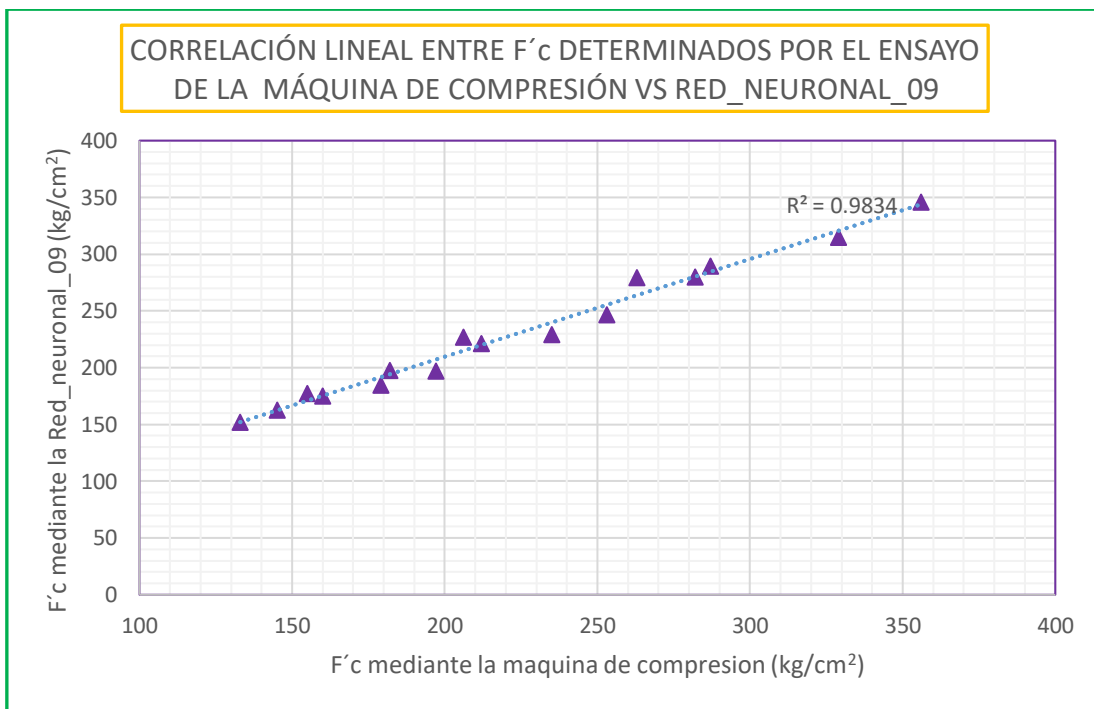


Figura 33. Correlación lineal entre el f'c determinado en el ensayo de la máquina de compresión y el estimado por la Red_Neuronal_09

Fuente: Elaboración propia

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

Se diseñó un modelo dinámico con redes neuronales artificiales para predecir la resistencia a la compresión del concreto de acuerdo a la NTP 339.034, utilizando el programa Matlab.

Se verificó la importancia que tienen las propiedades de los agregados (granulometría, peso unitario suelto y compactado, peso específico, contenido de humedad y porcentaje de absorción) en la predicción de la resistencia a la compresión del concreto, ya que por medio de estas propiedades se logró obtener un diseño de red neuronal artificial óptimo.

Las redes neuronales artificiales han tenido un aceptable proceso de entrenamiento, ya que aprendieron a reconocer los 292 datos del conjunto de entrenamiento (INPUT), elaborado con los ensayos de agregados y diseños de mezcla de concreto y relacionarlos con sus respectivos $f'c$ del conjunto TARGET, extraídos de las tesis de titulación de la escuela de ingeniería civil de la universidad Señor de Sipán y universidad Cesar Vallejo Chiclayo.

Se diseñaron 10 modelos de Redes Neuronales Artificiales, de tipo Feed-forward backpropagation, con una función de entrenamiento basada en el algoritmo de Levenberg Marquardt (TRAINLM), con función de aprendizaje del Descenso de gradiente (LEARNNGDM). Estos modelos fueron evaluados, utilizando indicadores de desempeño como el coeficiente de correlación R y el coeficiente de determinación (R^2) en la etapa de entrenamiento.

El modelo de Red Neuronal Artificial que predice de forma más acertada la resistencia a la compresión del concreto es la Red_Neuronal_09, puesto que en la etapa de entrenamiento tiene un coeficiente de determinación $R^2 = 0.9446$ y en la etapa de simulación tiene $R^2 = 0.9834$, con lo cual se consigue una correcta estimación de esta propiedad del concreto para los diseños de mezcla de 175, 210, 280 y 350 kg/cm² elaborados por el investigador.

Se concluye que el empleo de redes neuronales artificiales es un método válido, para la estimación o predicción de la resistencia a la compresión del concreto, generando así la posibilidad de su utilización a futuro en el control de calidad del concreto.

4.2. Recomendaciones

Se recomienda usar otros tipos de redes neuronales artificiales de aprendizaje supervisado y no supervisado, así como también emplear algoritmos distintos al backpropagation y que se encuentran disponibles en el software Matlab.

Se recomienda utilizar el programa estadístico SPSS para realizar este trabajo de investigación, es decir crear una regresión lineal múltiple y comparar sus resultados con los resultados de las redes neuronales artificiales.

Se recomienda incrementar la base de datos de este trabajo de investigación, con tesis de otras universidades del departamento de Lambayeque, con el propósito que las redes neuronales artificiales tengan más datos que faciliten su proceso de entrenamiento, y como consecuencia minimizar el error de la predicción de la resistencia a la compresión del concreto.

Se recomienda el uso de las redes neuronales artificiales para el modelamiento de la resistencia a la compresión del concreto agregándole algún tipo de aditivo, y analizar cuáles serían sus resultados ante el ingreso de esta nueva variable.

Se recomienda el uso de las redes neuronales artificiales en las distintas especialidades de la ingeniería civil, como una alternativa de solución ante problemas de predicción, clasificación y optimización.

REFERENCIAS

- Abanto, F. (2009). *Tecnología del Concreto*. Lima: Editorial San Marcos E.I.R.L.
- Acuña, L., Torre, A., Moromi, I., Espinoza, P., & García, F. (2013). Modelización de la resistencia a la compresión del concreto mediante redes neuronales artificiales. *Tecnia*, 11 - 20.
- Aguilar, O., Rodríguez, E., & Sermeño, M. (2009). *Determinacion De La Resistencia Del Concreto A Edades Tempranas Bajo La Norma Astm C 1074, En Viviendas De Concreto Coladas En El Sitio*. San Salvador: Universidad de El Salvador.
- ASOCRETO. (2010). *Tecnología del Concreto*. Bogotá: Nomos Impresores.
- Aspilcueta, M. (2015). *Análisis comparativo de la resistencia a la compresión del concreto estimada a partir de la utilización del método de madurez*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Ayala, I. (2016). *Predicción de sequías con redes neuronales artificiales y algoritmos genéticos utilizando precipitación por percepción remota*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería .
- Becerra, L. (2014). *Modelo neuronal de demanda de transporte en redes viales urbanas*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Bohórquez, L. (2015). *Tránsito de crecientes a través de canales de aguas lluvia*. Bogotá: Universidad de los Andes.
- Builes, R., & Pardo, M. (2016). *Correlación entre las resistencias obtenidas mediante ensayos de compresión y esclerometría en cilindros de acero*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.
- Cuellar , J., & Sequeiros, W. (2017). *Influencia del curado en la resistencia a la compresión del concreto preparado con cemento portland tipo i y cemento puzolánico tipo ip en la ciudad de abancay – apurimac*. Abancay: Universidad Tecnológica de los Andes.
- Díaz, M. (2017). *Uso de las redes neuronales artificiales en el modelado del ensayo de resistencia a compresión de concreto de construcción según la norma astm c39/c 39m'*. Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca.
- Folino, P., Will, A., Flores, F., Diaz, W., & Etse, G. (2007). Uso de redes neuronales y anfis para predecir la resistencia uniaxial a compresión de. *Asociación Argentina de mecánica computacional*, 1 - 14.

- Garnica, P., Gómez, L., & Pérez, N. (2018). *Estimación del módulo de resiliencia usando redes neuronales*. Querétaro : Universidad Autónoma de Querétaro.
- Gonzales, C. (2018). *Análisis de la resistencia del concreto mediante redes neuronales haciendo uso del agregado de la cantera Santa Rosa Huancavelica*. Huancavelica: Universidad Nacional de Huancavelica.
- Gonzales, R. (2017). *Análisis comparativo de la resistencia a compresión de un concreto convencional utilizando muestras cilíndricas y cúbicas*. Chiclayo: Universidad Señor de Sipan.
- González , L., Guerrero, A., Delvasto, S., & Will, A. (2012). Red neuronal artificial para estimar la resistencia a compresión en concretos fibro-reforzados con polipropileno. *Revista Universidad de Manizales*, 1 - 18.
- González, L., Guerrero, A., Delvasto, S., & Will, A. (2012). Exploración con redes neuronales artificiales para estimar la resistencia a la compresión en concretos fibroreforzados con acero. *Universidad de Manizales*, 1 - 20.
- Granda, T., Vela, A., & Borja, M. (2014). Evaluación de la calidad del hormigón en viviendas autoconstruidas en el distrito de José Leonardo Ortíz, Chiclayo, Lambayeque, Perú. *Congreso Latinoamericano sobre patología de la construcción, tecnología de la rehabilitación y gestión del patrimonio*, 1086 - 1093.
- Jory, M. (2007). *Predicción de las variaciones de costos para proyectos de construcción utilizando redes neuronales artificiales*. Santiago de Chile: Universidad de Chile.
- Khademi, F., Jamal, S., Deshpande, N., & Londhe, S. (2016). Predicting strength of recycled aggregate concrete using Artificial Neural Network, Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System and Multiple Linear Regression. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 355–369.
- Laura, S. (2006). *Diseño de mezcla de concreto*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Linares, C. (2018). *Determinación de resistencia temprana de hormigón proyectado: correlación entre método normado une-en14488-2 y método alternativo*. Santiago de Chile: Universidad de Chile.
- Medina, L., & Quispe, N. (2017). *Protección óptima en el proceso de curado y su influencia en la resistencia de los concretos expuestos a ciclos de congelamiento y deshielo*. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín.

- Misterio de Transporte y Comunicaciones. (2016). *MANUAL DE ENSAYO DE MATERIALES*. LIMA.
- Montaño, J. (2002). *Redes Neuronales Artificiales aplicadas al análisis de datos*. Palma de Mallorca: Universitat de Les Illes Balears .
- Parejo, A. (2013). *Plan de acción para la reducción y control de desperdicios productivos en la empresa taco taco de Venezuela c.a. (pizza hut) en el municipio Valencia, edo. Carabobo*. Carabobo: Universidad de Carabobo.
- Ponce, P. (2010). *Inteligencia artificial con aplicaciones a la ingeniería*. Distrito Federal: Alfaomega.
- Requena, D. (2018). *Transito de avenidas en el cauce natural del rio ichu mediante redes neuronales artificiales*. Huancavelica: Universidad Nacional de Huancavelica.
- Rudeli, N., & Santilli, A. (2017). Medición de resistencia a tempranas edades del hormigón: método que mejor se ajusta para la determinación de tiempos mínimos de desencofrado de elementos verticales de hormigón. *Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Montevideo*, 1 - 11.
- Rumiche, E. (2018). *Implementación del procedimiento del metodo de madurez del concreto (norma astm c 1074) para calcular la resistencia a la compresión con apoyo de equipos electrónicos*. Lima: Universidad Nacional Federico Villarreal.
- Saldarriaga, J. (2015). *Tránsito de crecientes a través de canales de aguas lluvia*. Bogotá: Universidad de los Andes.
- San Miguel Salas, J. (2016). *Desarrollo con Matlab de una red neuronal para estimar la demanda de energía eléctrica*. Valladolid: Universidad de Valladolid.
- Tafur, W., & Viracucha, M. (2018). *Modelo de predicción de la resistencia a la compresión del hormigón con fibras naturales utilizando redes neuronales artificiales*. Quito: Univeridad Central del Ecuador.
- Valencia, G., & Ibarra, M. (2013). *Estudio experimental para determinar patrones de correlación entre la resistencia a compresión y la velocidad de pulso ultrasónico en concreto simple*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú .
- Vásquez, K. (2013). *Obtención del mejor método para elaborar el diseño de mezclas de concreto, al comparar los métodos aci fuller, walker y módulo de fineza de la*

combinación de los agregados, para una resistencia a la compresión $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ (a los 28 días). Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca.

ANEXOS

ANEXO 1. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Análisis granulométrico del agregado fino



FACULTAD DE INGENIERIA, ARQUITECTURA Y URBANISMO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

TESIS:

DISEÑO DE UN MODELO DINÁMICO CON REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA
PREDECIR LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO

TESISTA:

Chingay Gonzales Gary

UBICACIÓN:

Pimentel, Chiclayo, Lambayeque

Ensayo : Análisis granulométrico por tamizado del agregado fino

Referencia : Norma ASTM C-136 ó N.T.P. 400.012

Peso inicial

Muestra La Victoria - Patapo

Malla		Peso Retenido	% Retenido	% Acumulado Retenido	% Acumulado que pasa
Pulg.	(mm.)				
1/2"	12.700				
3/8"	9.520				
N° 004	4.750				
N° 008	2.360				
N° 016	1.180				
N° 030	0.600				
N° 050	0.300				
N° 100	0.150				
FONDO					

Módulo de fineza =

Aberura de malla de referencia =

Análisis granulométrico del agregado grueso



FACULTAD DE INGENIERIA, ARQUITECTURA Y URBANISMO
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

TESIS:

DISEÑO DE UN MODELO DINÁMICO CON REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA
 PREDECIR LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO

TESISTA:

Chingay Gonzales Gary

UBICACIÓN:

Pimentel, Chiclayo, Lambayeque

Ensayo : Análisis granulométrico por tamizado del agregado grueso

Referencia : Norma ASTM C-136 ó N.T.P. 400.012

Peso inicial

Muestra La Victoria - Patapo

Malla		Peso Retenido	% Retenido	% Acumulado Retenido	% Acumulado que pasa
Pulg.	(mm.)				
2"	50.000				
1 1/2"	38.000				
1"	25.000				
3/4"	19.000				
1/2"	12.700				
3/8"	9.520				
Nº 4	4.750				
FONDO					

Tamaño Máximo =

Tamaño Máximo Nominal =

Módulo de fineza =

Peso unitario y Contenido de humedad del agregado fino



FACULTAD DE INGENIERIA, ARQUITECTURA Y URBANISMO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

TESIS: **DISEÑO DE UN MODELO DINÁMICO CON REDES NEURONALES ARTIFICIALES
PARA PREDECIR LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO**

TESISTA: **Chingay Gonzales Gary**

Ensayo : **Peso unitario del agregado fino**
Referencia : **Norma ASTM C-29 ó N.T.P. 400.017**

Muestra **La Victoria - Patapo**

1.- PESO UNITARIO SUELTO

	A	B
.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	
.- Peso del recipiente	(gr.)	
.- Peso de muestra	(gr.)	
.- Constante ó Volumen	(m ³)	
.- Peso unitario suelto húmedo	(kg/m ³)	
.- Peso unitario suelto humedo (Promedio)	(kg/m ³)	
.- Peso unitario suelto seco (Promedio)	(kg/m ³)	

2.- PESO UNITARIO COMPACTADO

	A	B
.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	
.- Peso del recipiente	(gr.)	
.- Peso de muestra	(gr.)	
.- Constante ó Volumen	(m ³)	
.- Peso unitario suelto húmedo	(kg/m ³)	
.- Peso unitario compactado humedo (Promedio)	(kg/m ³)	
.- Peso unitario seco compactado (Promedio)	(kg/m ³)	

Contenido de Humedad del agregado fino

Ensayo : **Contenido de humedad del agregado fino**
Referencia : **Norma ASTM C-535 ó N.T.P. 339.185**

	A	B
.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	
.- Peso de muestra seca	(gr.)	
.- Peso de recipiente	(gr.)	
.- Contenido de humedad	(%)	
.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	

Peso unitario y Contenido de humedad del agregado grueso



FACULTAD DE INGENIERIA, ARQUITECTURA Y URBANISMO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

TESIS: **DISEÑO DE UN MODELO DINÁMICO CON REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA PREDECIR LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO**

TESISTA:

Chingay Gonzales Gary

Ensayo : **Peso unitario del agregado grueso**
Referencia : **Norma ASTM C-29 ó N.T.P. 400.017**

Muestra **La Victoria - Patapo**

1.- PESO UNITARIO SUELTO

	A	B
- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	
- Peso del recipiente	(gr.)	
- Peso de muestra	(gr.)	
- Constante ó Volumen	(m ³)	
- Peso unitario suelto húmedo	(kg/m ³)	
- Peso unitario suelto húmedo (Promedio)	(kg/m ³)	
- Peso unitario suelto seco (Promedio)	(kg/m ³)	

2.- PESO UNITARIO COMPACTADO

	A	B
- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	
- Peso del recipiente	(gr.)	
- Peso de muestra	(gr.)	
- Constante ó Volumen	(m ³)	
- Peso unitario suelto húmedo	(kg/m ³)	
- Peso unitario compactado húmedo (Promedio)	(kg/m ³)	
- Peso unitario compactado seco (Promedio)	(kg/m ³)	

Contenido de Humedad del agregado grueso

Ensayo : **Contenido de humedad del agregado grueso**
Referencia : **Norma ASTM C-535 ó N.T.P. 339.185**

	A	B
- Peso de muestra húmeda	(gr.)	
- Peso de muestra seca	(gr.)	
- Peso de recipiente	(gr.)	
- Contenido de humedad	(%)	
- Contenido de humedad (promedio)	(%)	

Peso específico y Absorción del agregado fino



FACULTAD DE INGENIERIA, ARQUITECTURA Y URBANISMO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

TESIS: DISEÑO DE UN MODELO DINÁMICO CON REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA PREDECIR LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO

TESISTA:

Chingay Gonzales Gary

Ensayo : Peso específico y Absorción del agregado fino

Referencia : Norma ASTM C-128 ó N.T.P. 400.022

Muestra La Victoria - Patapo

I. DATOS

1.- Peso de la arena superficialmente seca	(gr)
1.- Peso de la arena superficialmente seca + peso del frasco + peso del agua	(gr)
2.- Peso de la arena superficialmente seca + peso del frasco	(gr)
3.- Peso del agua	(gr)
4.- Peso de la arena secada al horno + peso del frasco	(gr)
5.- Peso del frasco	(gr)
6.- Peso de la arena secada al horno	(gr)
7.- Volumen del frasco	(cm ³)

II .- RESULTADOS

1.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(gr/cm ³)	PROMEDIO
2.- PESO ESPECIFICO DE MASA SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO	(gr/cm ³)	
3.- PESO ESPECIFICO APARENTE	(gr/cm ³)	
4.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	%	

Peso específico y Absorción del agregado grueso



FACULTAD DE INGENIERIA, ARQUITECTURA Y URBANISMO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

TESIS: **DISEÑO DE UN MODELO DINÁMICO CON REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA PREDECIR LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO**

TESISTA:

Chingay Gonzales Gary

Ensayo : Peso específico y Absorción del agregado grueso

Referencia : Norma ASTM C-127 ó N.T.P. 400.021

Muestra **La Victoria - Patapo**

I. DATOS

1.- Peso de la muestra secada al horno	(gr)
2.- Peso de la muestra saturada superficialmente seca	(gr)
3.- Peso de la muestra saturada dentro del agua + peso de la canastilla	(gr)
4.- Peso de la canastilla	(gr)
5.- Peso de la muestra saturada dentro del agua	(gr)

II .- RESULTADOS

1.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(gr/cm ³)	PROMEDIO
2.- PESO ESPECIFICO DE MASA SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO	(gr/cm ³)	
3.- PESO ESPECIFICO APARENTE	(gr/cm ³)	
4.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	%	

Resistencia a la compresión del concreto

**USS | UNIVERSIDAD
SEÑOR DE SIPÁN**
FACULTAD DE INGENIERIA, ARQUITECTURA Y URBANISMO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

TESIS:

DISEÑO DE UN MODELO DINÁMICO CON REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO

PREDECIR LA

TESISTA:

Chingay Gonzales Gary

Ensayo : Metodo de ensayo normalizado para determinacion de la resistencia a la compresion del concreto en muestras
cilindricas

Referencia : NTP 339.034

Muestra N°	Concreto	Fecha de vaciado	Fecha de ensayo	Edad (días)	Altura (cm)	Diametro (cm)	R(L/D)	Factor de correccion	Carga (Kg)	Tipo de falla	F'c (Kg/cm2)	F'c promedio(K	F'c Diseño(Kg/c	%
1														
2														
3														
4														
5														
6														
7														
8														
9														
10														
11														
12														



UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPAN
FACULTAD DE INGENIERIA, ARQUITECTURA Y URBANISMO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

TESIS:

**DISEÑO DE UN MODELO DINÁMICO CON REDES NEURONALES ARTIFICIALES
 PARA PREDECIR LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO**

TESISTA:

CHINGAY GONZALES GARY ANGELO

NOMBRE DEL INSTRUMENTO:

FORMATO PARA PREDECIR LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CONCRETO

OBJETIVO:

Registrar una base de datos de diseños de mezclas (cantidades de cemento, agregados y agua, y las propiedades de los agregados) y sus respectivas resistencias a la compresión.

INSTRUCCIONES:

- * Obtener las tesis de ingeniería civil relacionadas con concreto ubicadas en los repositorios y bibliotecas de la universidad Señor de Sipán y universidad Cesar Vallejo Chiclayo
- * Anotar de forma horizontal las propiedades de los agregados, cantidades de agua, agregados y cemento por m³, así como también sus resistencias a la compresión del concreto

VARIABLES DE ENTRADA																				VARIABLE DE SALIDA			
N°	f'c diseño kg/cm ²	Cemento	TMN (pulg)	Modulo de Fineza A.F	Modulo de Fineza A.G	P.U Suelto A.F (gr/cm ³)	P.U Suelto A.G (gr/cm ³)	P.U Compactado A.F (gr/cm ³)	P.U Compactado A.G (gr/cm ³)	P. Especifico A.F (gr/cm ³)	P. Especifico A.G (gr/cm ³)	Contenido de Humedad A.F(%)	Contenido de Humedad A.G(%)	Absorción A.F (%)	Absorción A.G (%)	Cantidad cemento (Kg/m ³)	Cantidad agua (L/m ³)	Cantidad A.F (Kg/m ³)	Cantidad A.G (Kg/m ³)	Edad de curado (días)	F'c (kg/cm ²)		
1																							
2																							
3																							
4																							
5																							
6																							
7																							
8																							
9																							
10																							
11																							
12																							
13																							
14																							
15																							

ANEXO 2. MODELOS DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES

RED NEURONAL_01

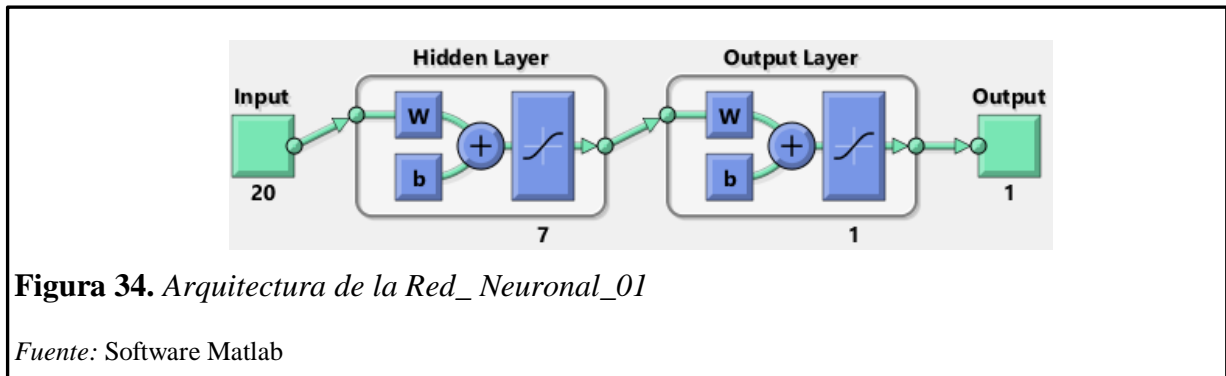


Figura 34. Arquitectura de la Red_Neuronal_01

Fuente: Software Matlab

Numero de neuronas por capa:

Capa de entrada: 20 neuronas

Capa oculta: 7 neuronas

Capa de salida: 1 neurona

Función de activación:

Capa oculta: función tangente hiperbólica (TANSIG)

Capa de salida: función tangente hiperbólica (TANSIG)

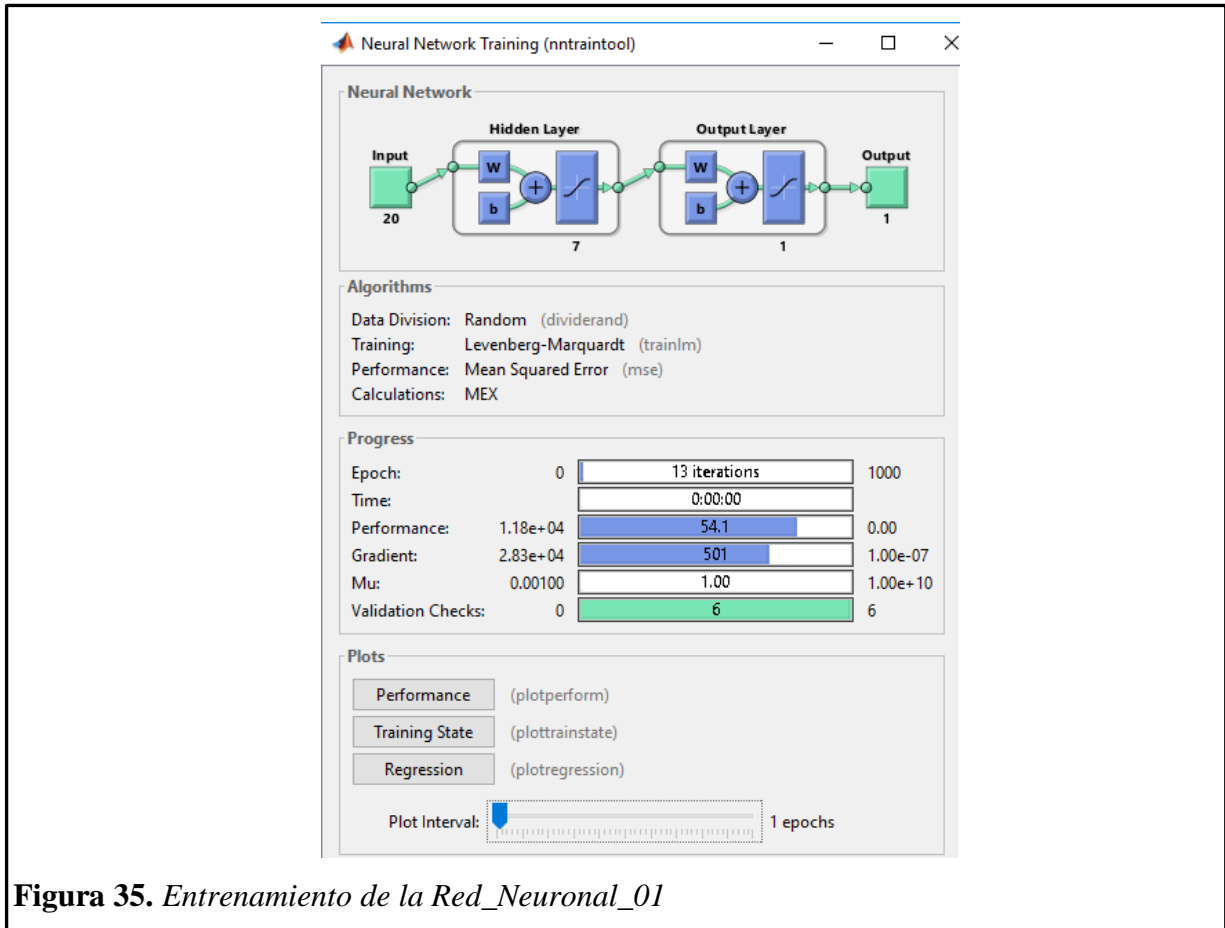


Figura 35. Entrenamiento de la Red Neuronal_01

La figura 36 nos presenta el comportamiento del error medio cuadrático con respecto a las iteraciones, y se observa que tanto el conjunto de entrenamiento, validación y test disminuyen hasta la iteración 7. El proceso de entrenamiento termina en la iteración N° 13.

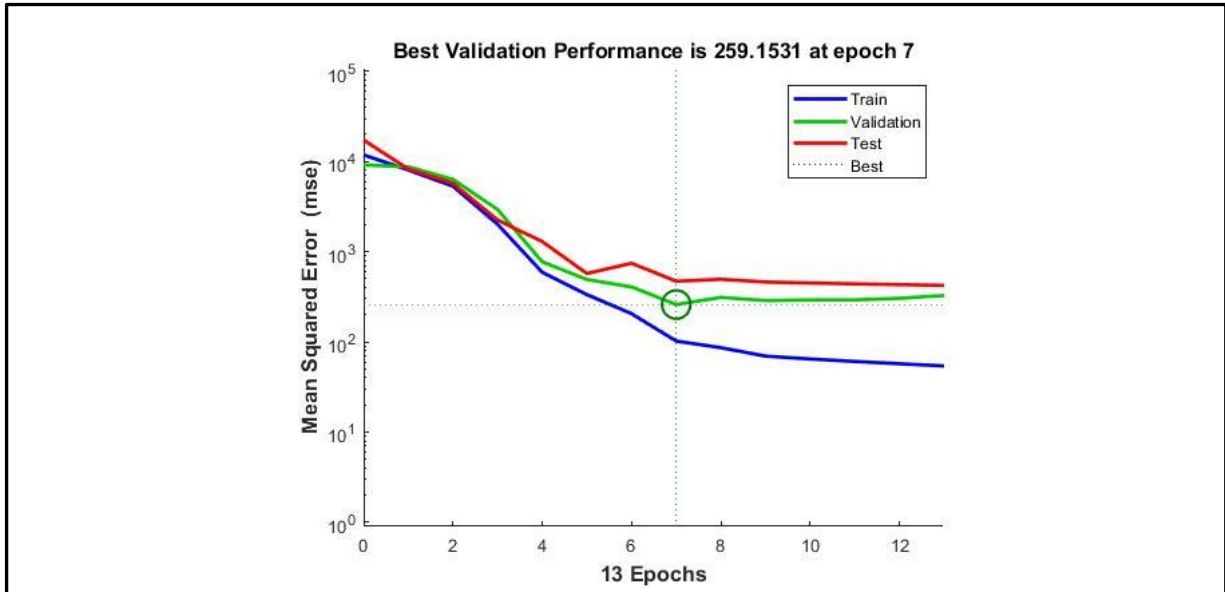


Figura 36. Evolución del error en función del número de iteraciones de la Red_Neuronal_01

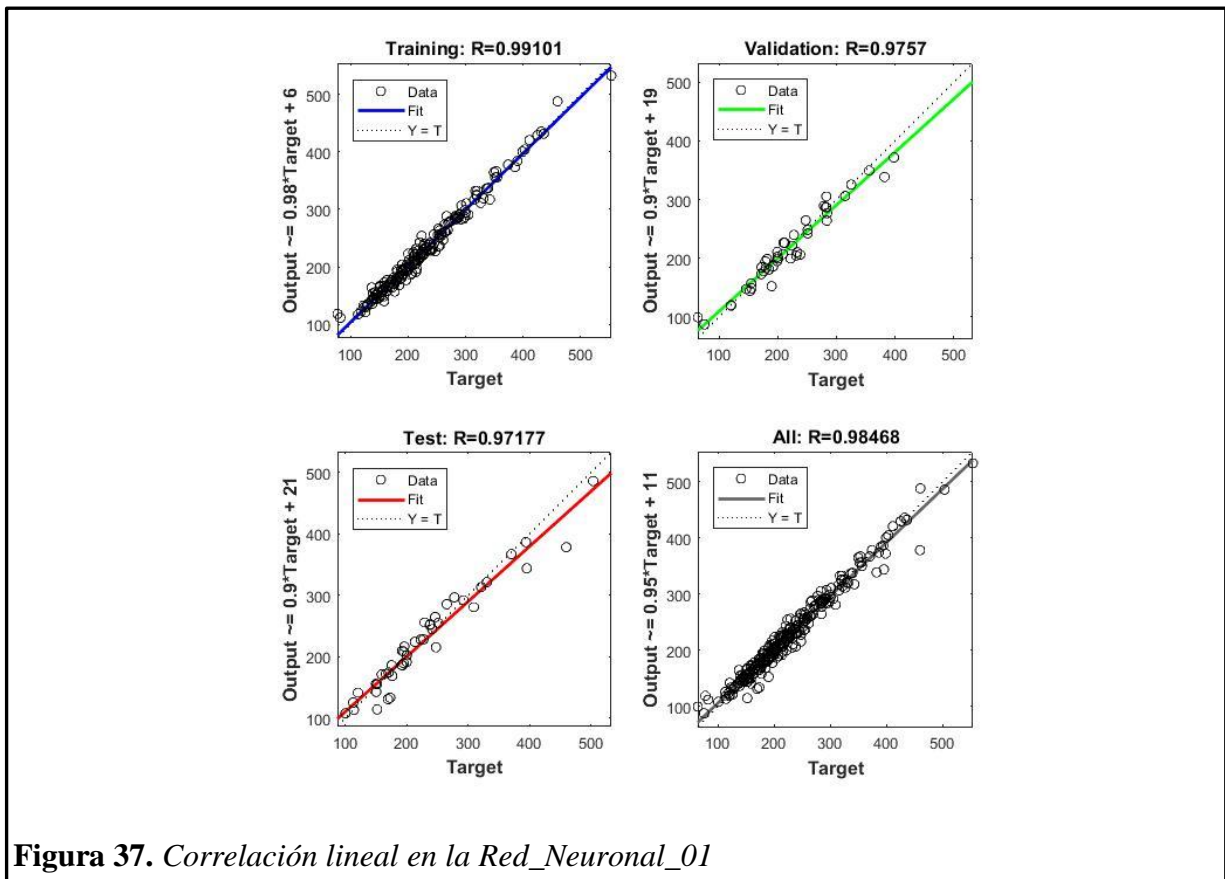


Figura 37. Correlación lineal en la Red_Neuronal_01

Los pesos que salen desde la capa de entrada, y se dirigen hacia la capa oculta son en total 140 conexiones, que se representan de forma numérica como se muestra en la figura 38.

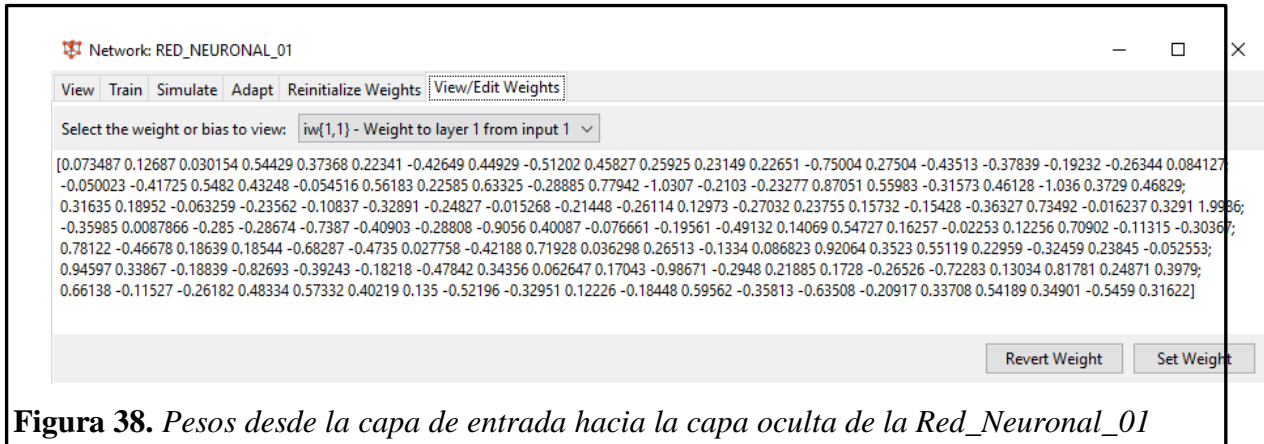


Figura 38. Pesos desde la capa de entrada hacia la capa oculta de la Red_Neuronal_01

Los pesos que salen desde la capa oculta hacia la capa de salida son en total 7 conexiones, que se representan de forma numérica como se puede observar en la figura 39.

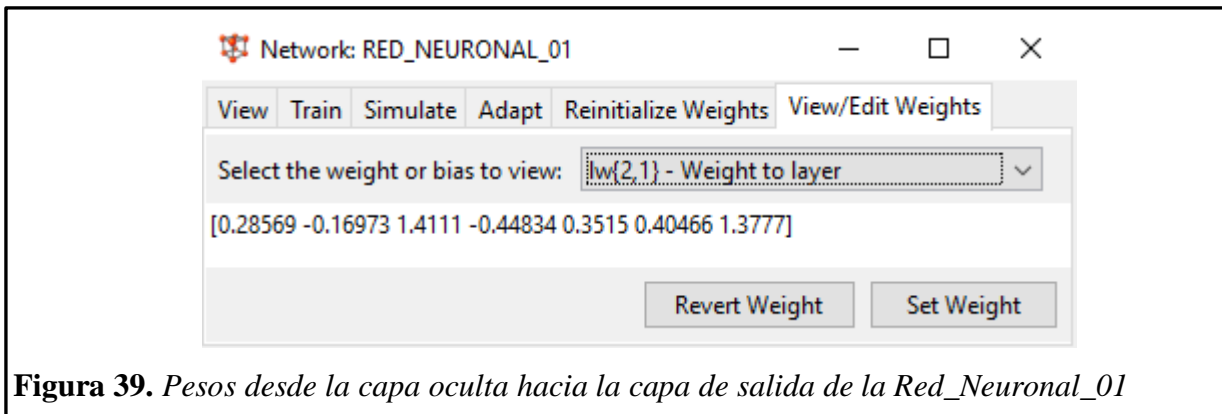
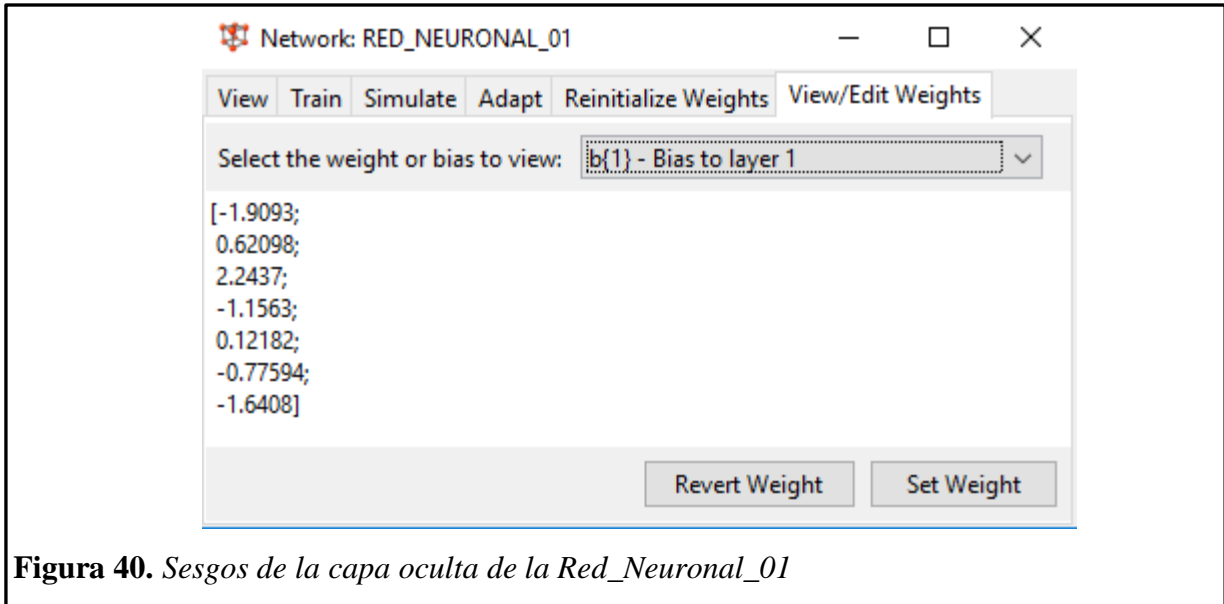
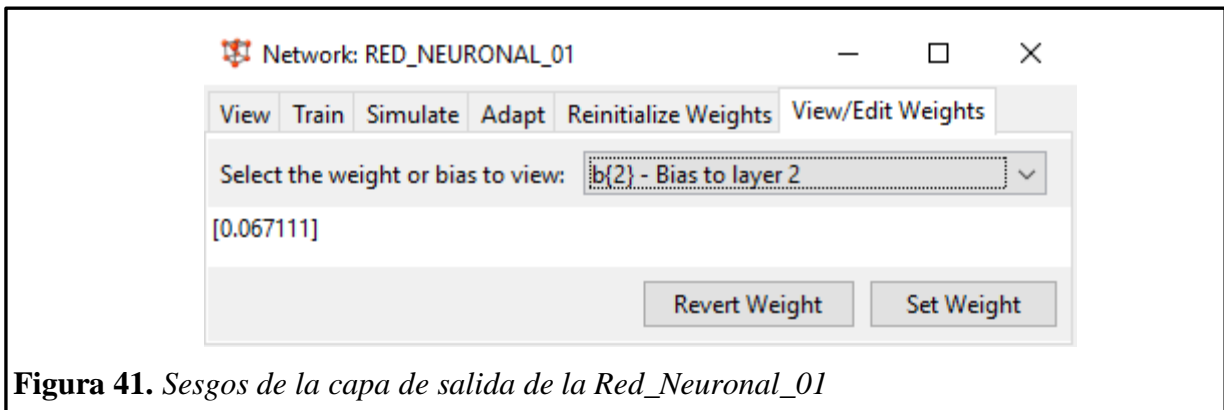


Figura 39. Pesos desde la capa oculta hacia la capa de salida de la Red_Neuronal_01

Los sesgos o bias que le corresponden a cada neurona de la capa oculta son 7, y se presentan en la figura 40.



En la capa de salida solo hay un sesgo o bias debido a que también hay una sola salida. El valor numérico del sesgo se presenta en la figura 41.



La figura 42 nos presenta los valores de las resistencias a la compresión del concreto pronosticadas mediante la Red Neuronal_01 vs las resistencias a compresión reales del conjunto TARGET. El R^2 obtenido es 0.9696.

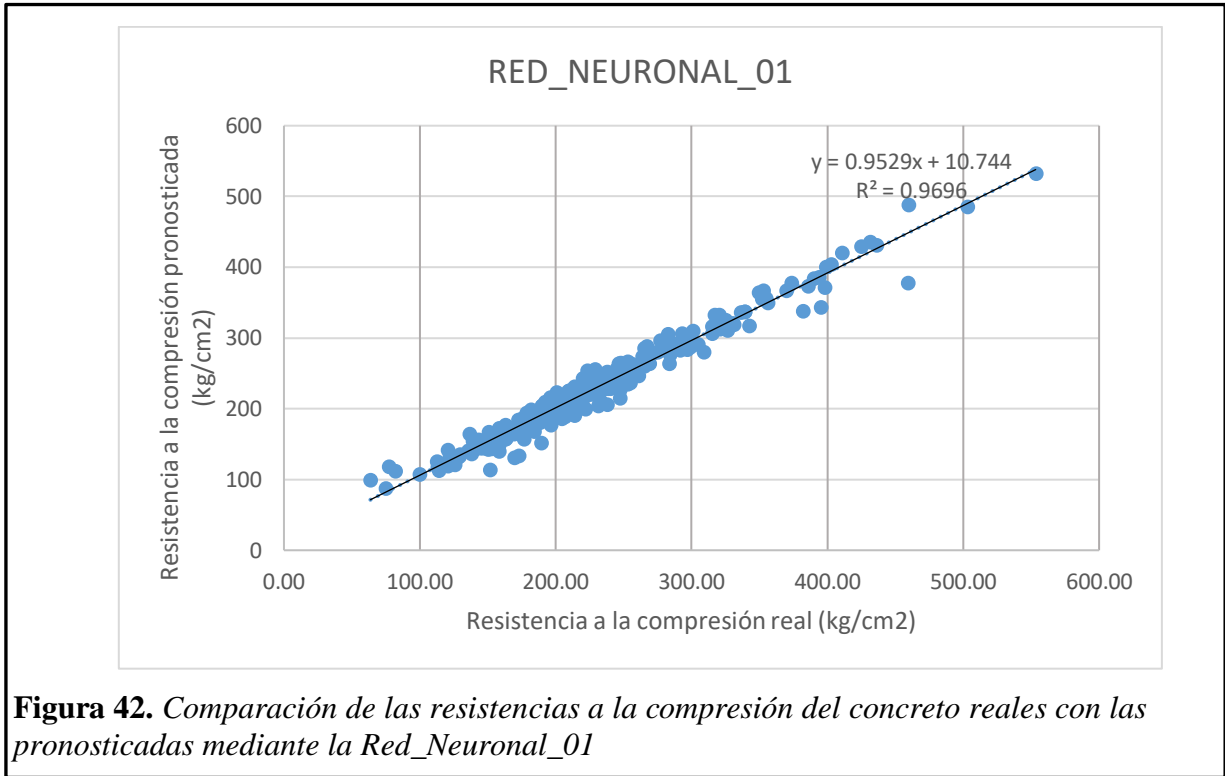


Figura 42. Comparación de las resistencias a la compresión del concreto reales con las pronosticadas mediante la Red_Neuronal_01

RED NEURONAL ARTIFICIAL 2

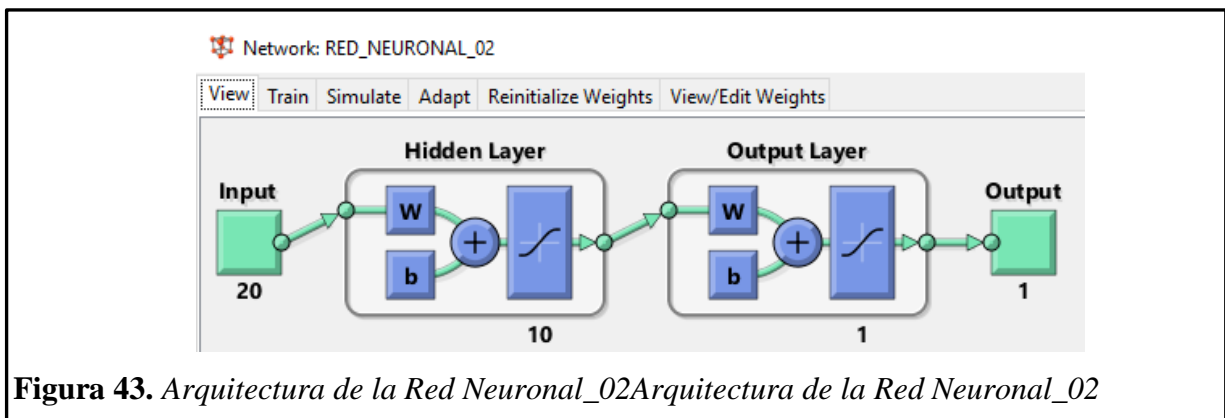


Figura 43. *Arquitectura de la Red Neuronal_02*

Numero de neuronas por capa:

Capa de entrada: 20 neuronas

Capa oculta: 10 neuronas

Capa de salida: 1 neurona

Función de activación:

Capa oculta: función tangente hiperbólica (TANSIG)

Capa de salida: función tangente hiperbólica (TANSIG)

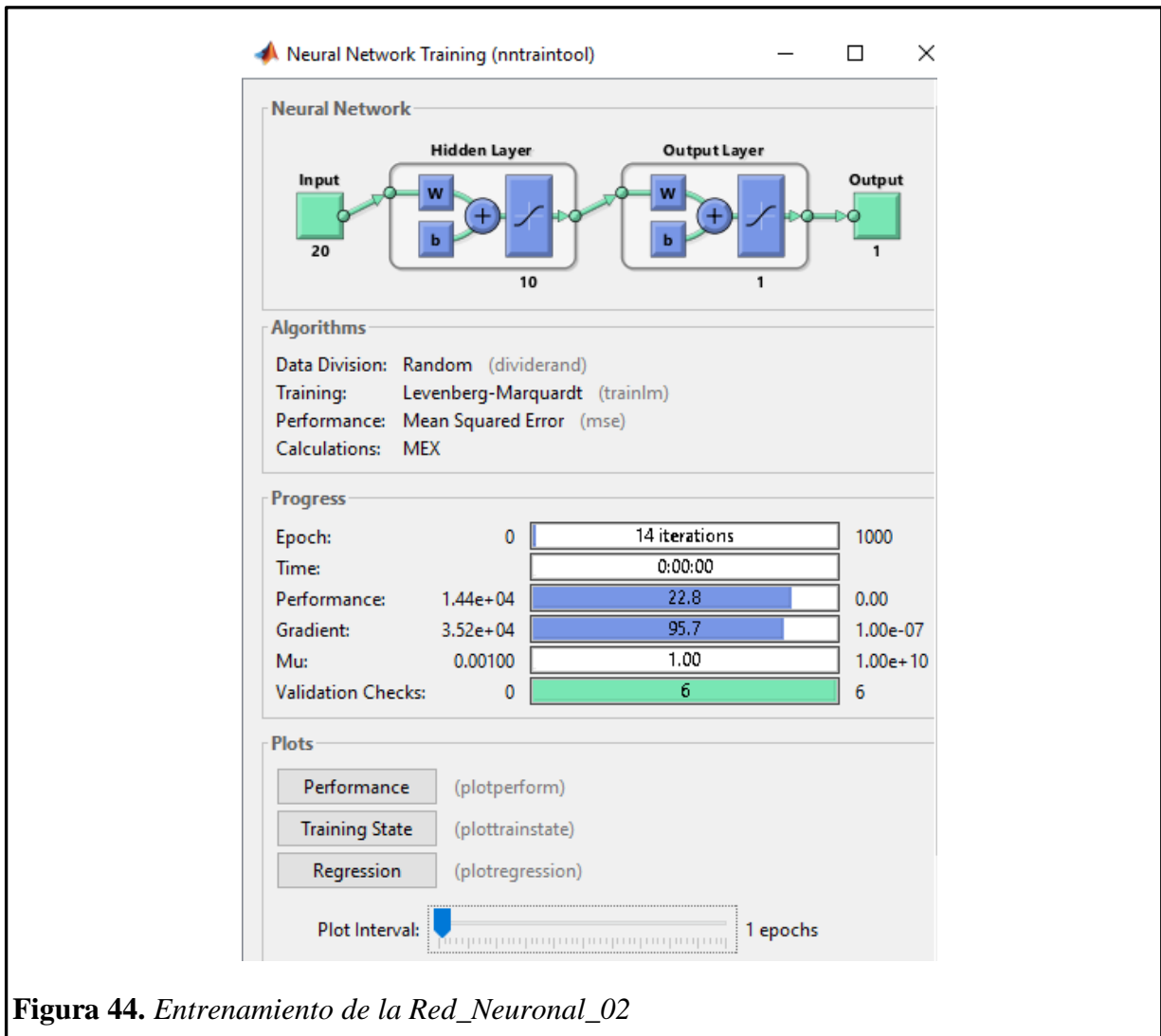


Figura 44. Entrenamiento de la Red_Neuronal_02

La figura 45 nos presenta el comportamiento del error medio cuadrático con respecto a las iteraciones, y se observa que tanto el conjunto de entrenamiento, validación y test disminuyen hasta la iteración 8. El proceso de entrenamiento termina en la iteración N° 14.

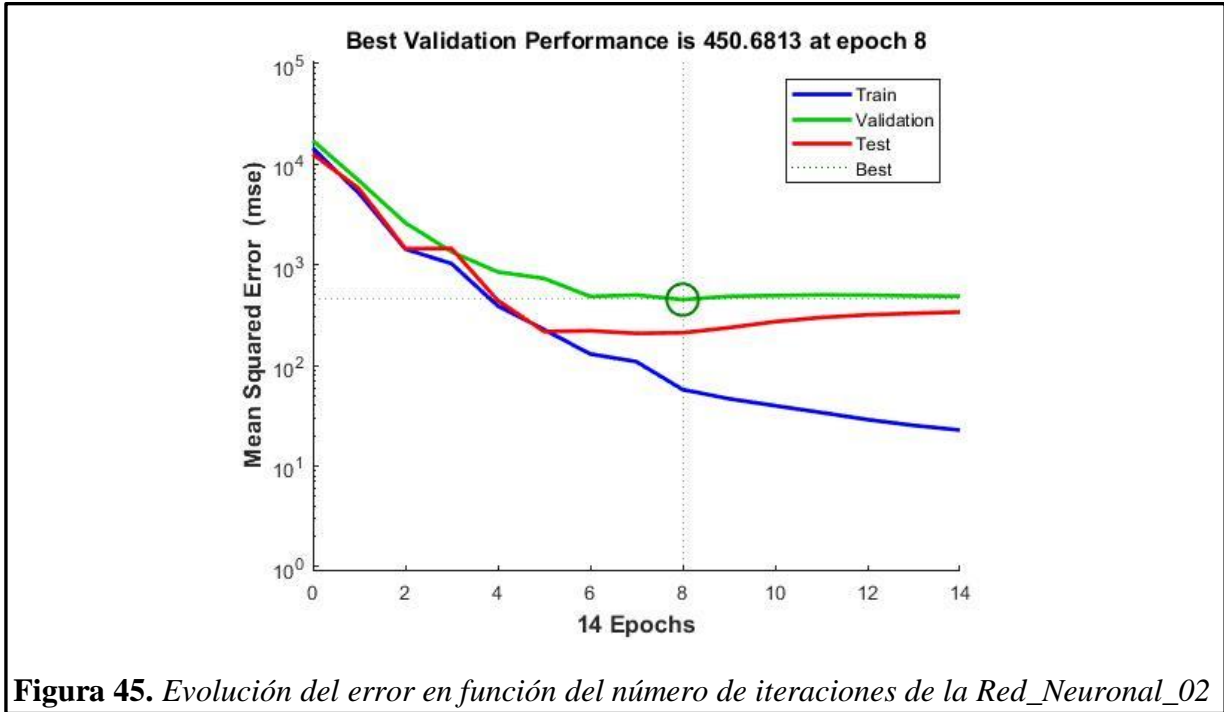


Figura 45. Evolución del error en función del número de iteraciones de la Red_Neural_02

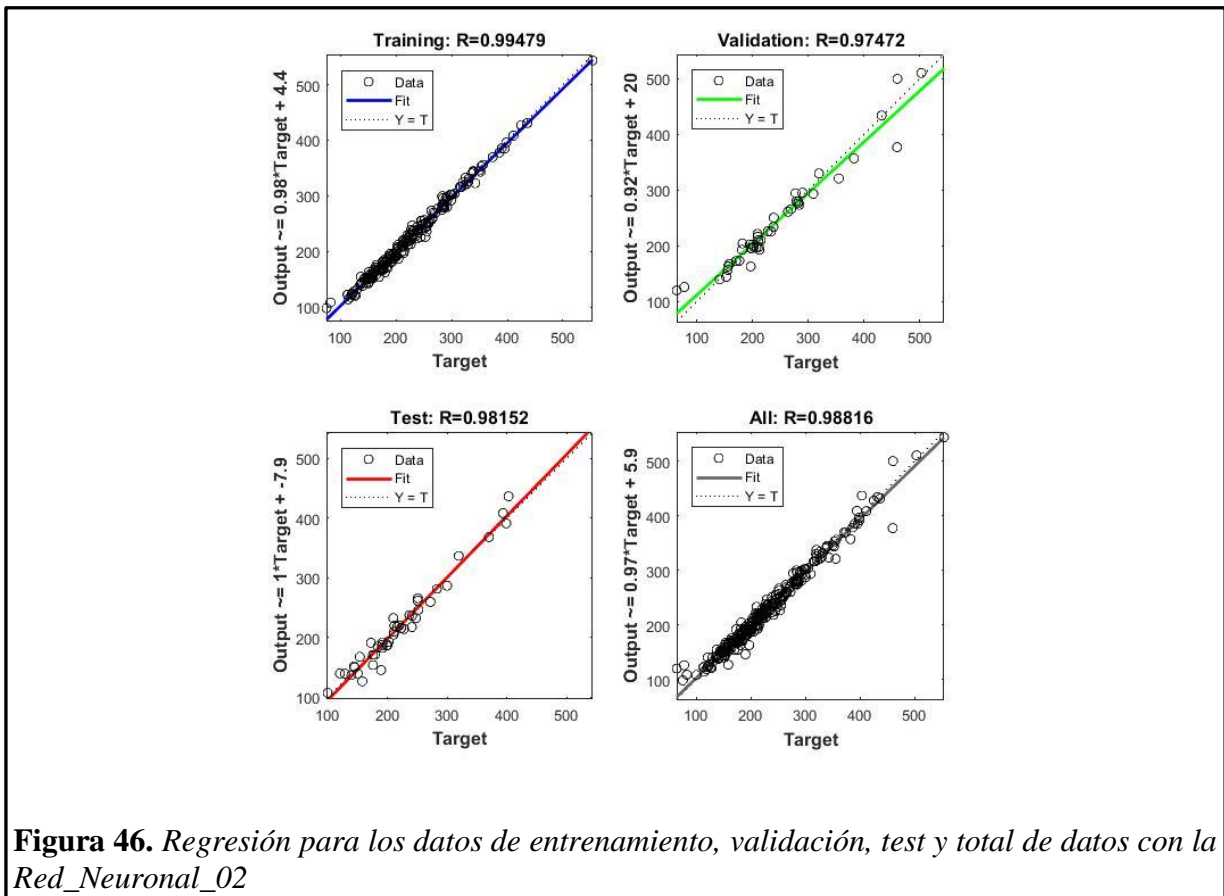


Figura 46. Regresión para los datos de entrenamiento, validación, test y total de datos con la Red_Neural_02

Los pesos que salen desde la capa de entrada, y se dirigen hacia la capa oculta son en total 200 conexiones, que se representan de forma numérica como se muestra en la figura 47.

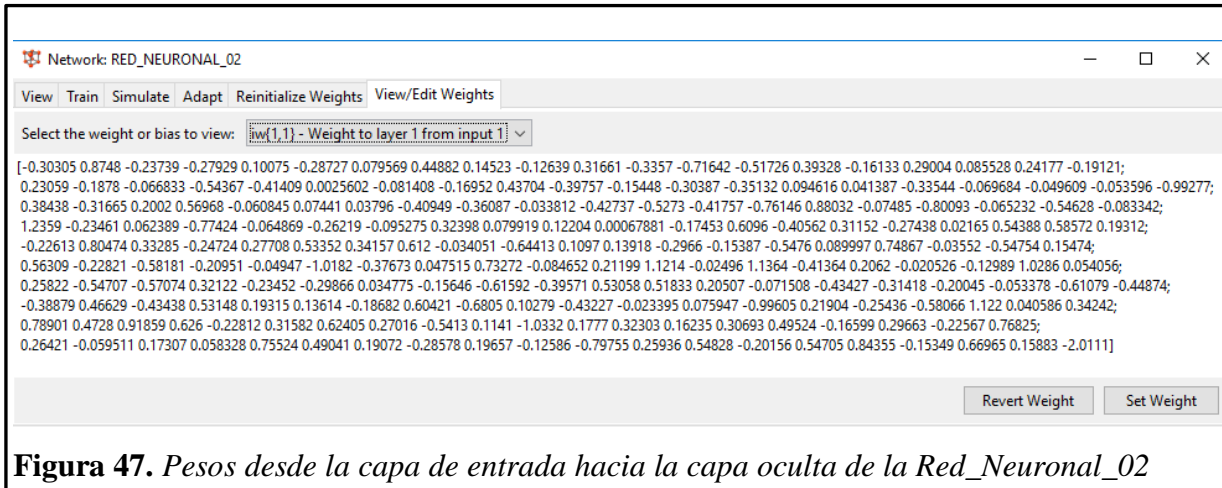


Figura 47. Pesos desde la capa de entrada hacia la capa oculta de la Red_Neuronal_02

Los pesos que salen desde la capa oculta hacia la capa de salida son en total 10 conexiones, que se representan de forma numérica como se puede observar en la figura 48.

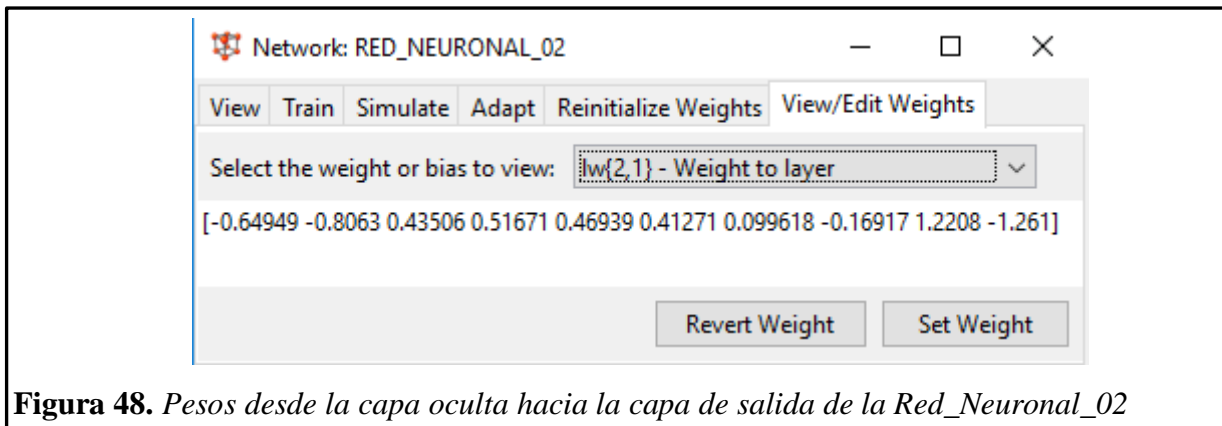


Figura 48. Pesos desde la capa oculta hacia la capa de salida de la Red_Neuronal_02

Los sesgos o bias que le corresponden a cada neurona de la capa oculta son 10, y se presentan en la figura 49.

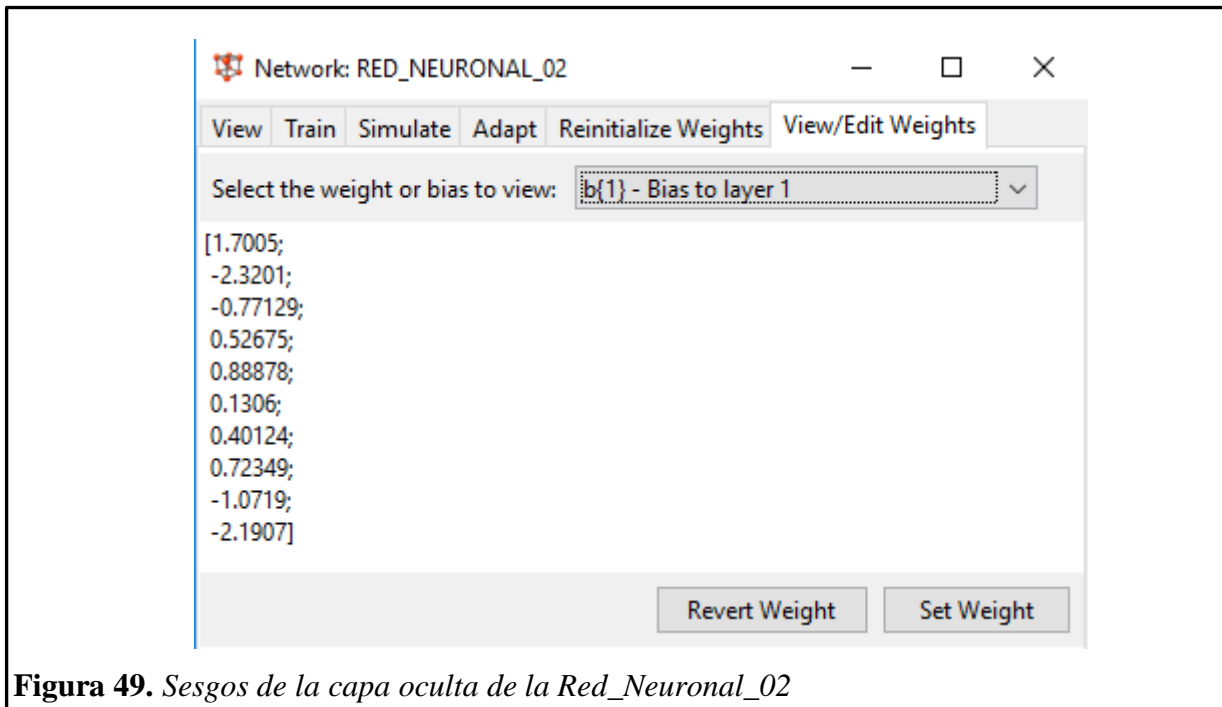


Figura 49. Sesgos de la capa oculta de la Red_Neuronal_02

En la capa de salida solo hay un sesgo o bias debido a que también hay una sola salida. El valor numérico del sesgo se presenta en la figura 50.

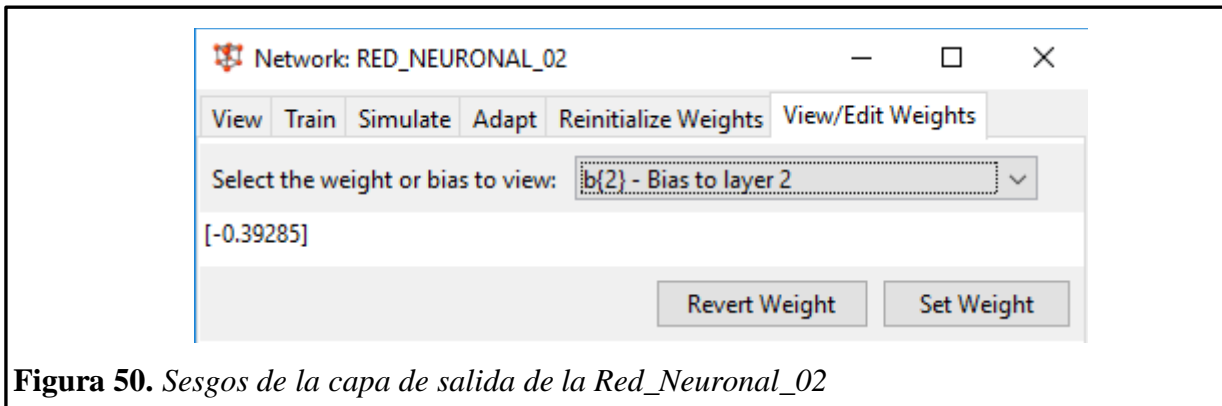


Figura 50. Sesgos de la capa de salida de la Red_Neuronal_02

La figura 51 nos presenta los valores de las resistencias a la compresión del concreto pronosticadas mediante la Red Neuronal_02 vs las resistencias a la compresión reales del conjunto TARGET. El R^2 obtenido es 0.9765.

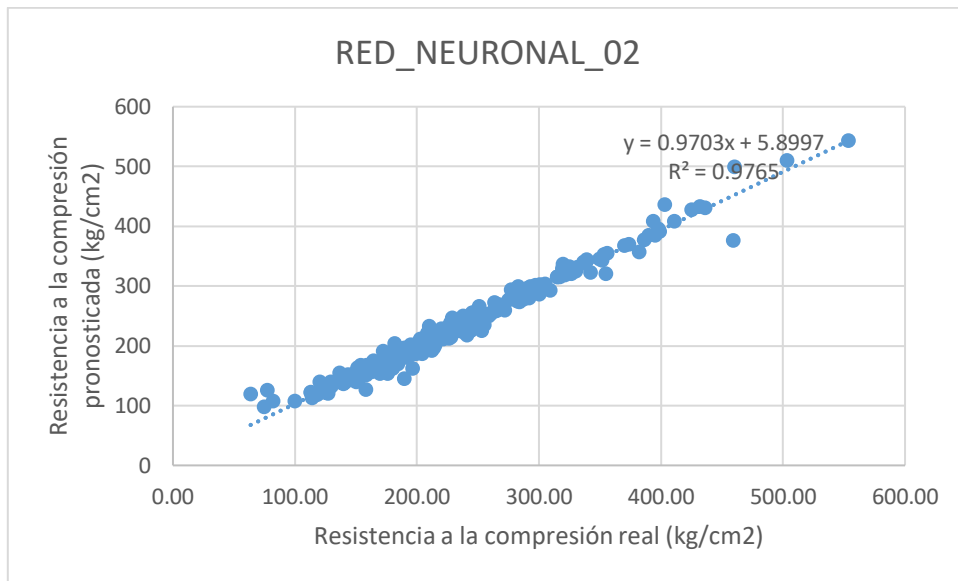


Figura 51. Comparación de las resistencias a la compresión del concreto reales con las pronosticadas mediante la Red_Neuronal_02

RED NEURONAL ARTIFICIAL 3

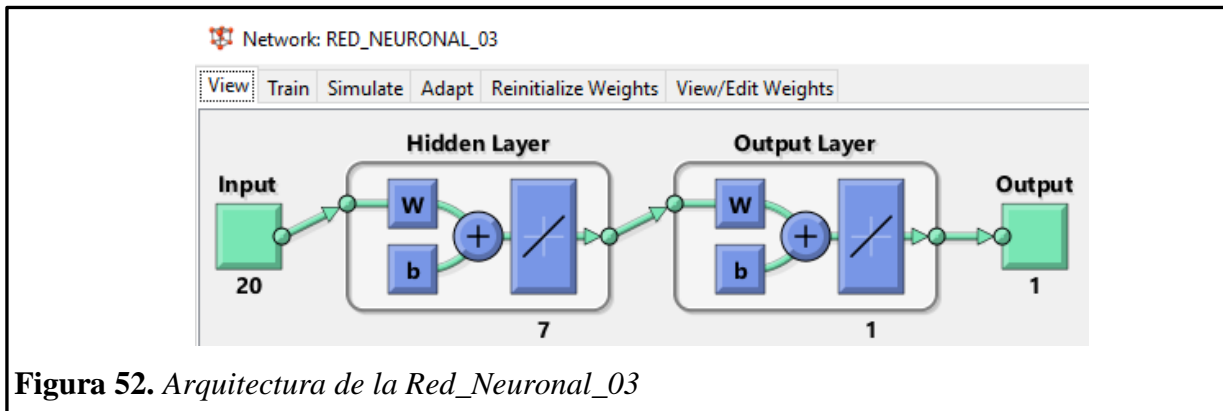


Figura 52. *Arquitectura de la Red_Neuronal_03*

Numero de neuronas por capa:

Capa de entrada: 20 neuronas

Capa oculta: 7 neuronas

Capa de salida: 1 neurona

Función de activación:

Capa oculta: función lineal (PURELIN)

Capa de salida: función lineal (PURELIN)

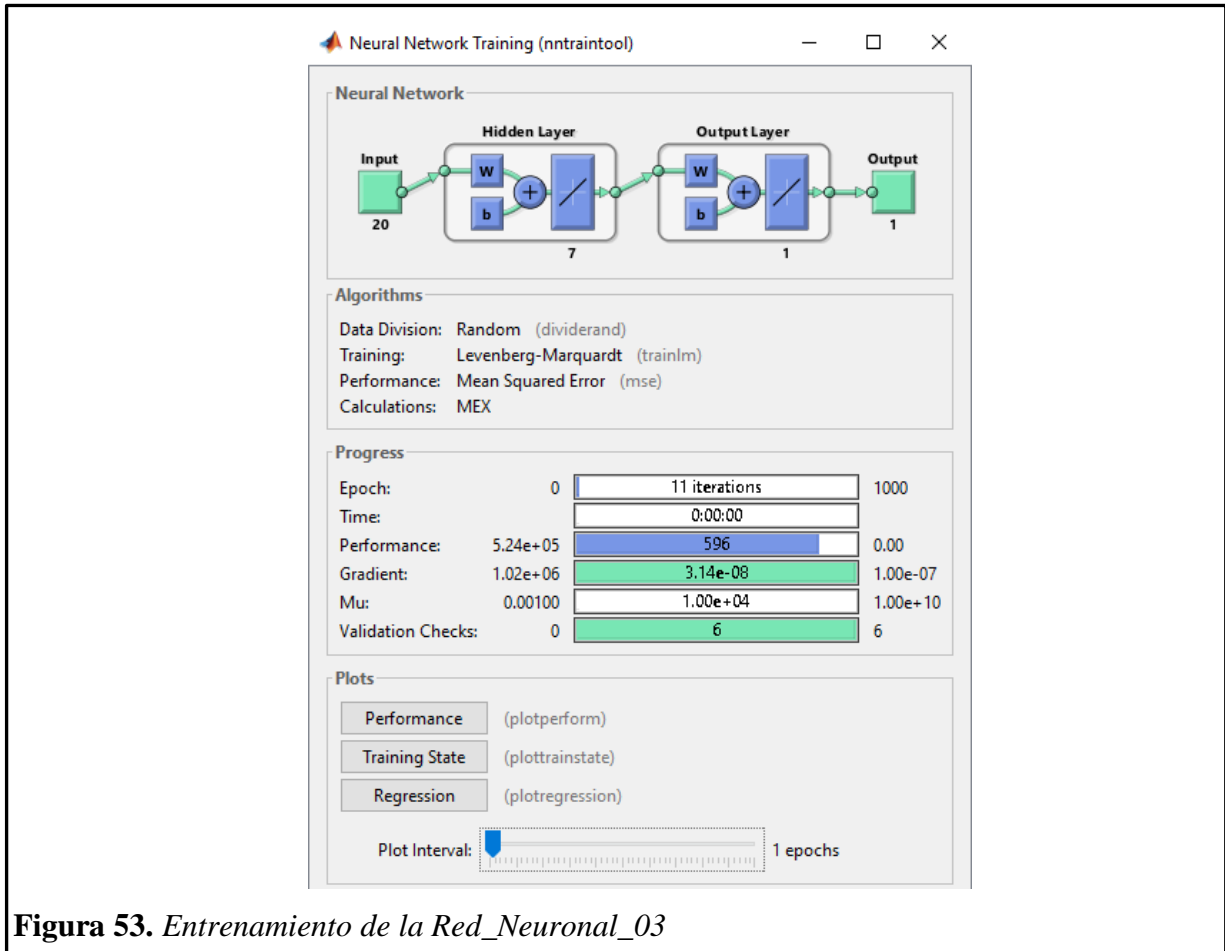


Figura 53. Entrenamiento de la Red Neuronal_03

La figura 54 nos presenta el comportamiento del error medio cuadrático con respecto a las iteraciones, y se observa que tanto el conjunto de entrenamiento, validación y test disminuyen hasta la iteración 5. El proceso de entrenamiento termina en la iteración N° 11.

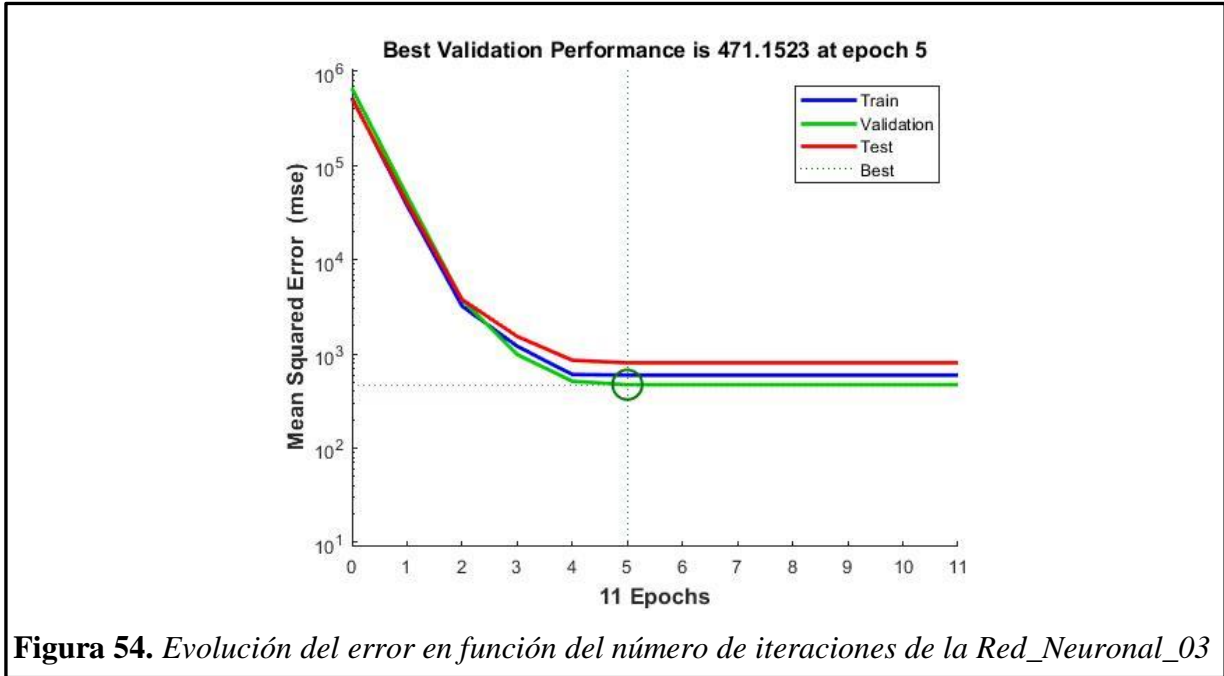


Figura 54. Evolución del error en función del número de iteraciones de la Red Neuronal_03

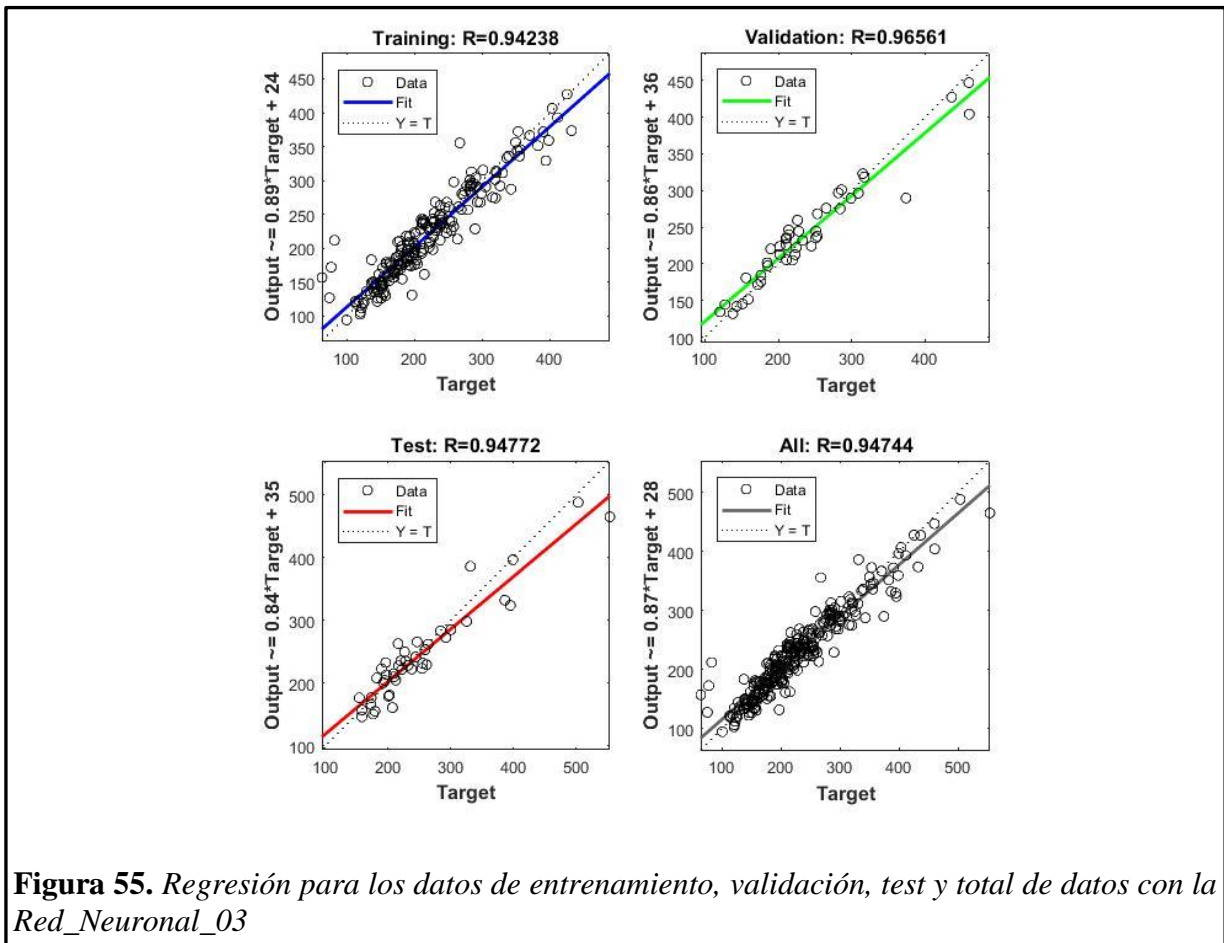


Figura 55. Regresión para los datos de entrenamiento, validación, test y total de datos con la Red Neuronal_03

Los pesos que salen desde la capa de entrada, y se dirigen hacia la capa oculta son en total 140 conexiones, que se representan de forma numérica como se muestra en la figura 56.

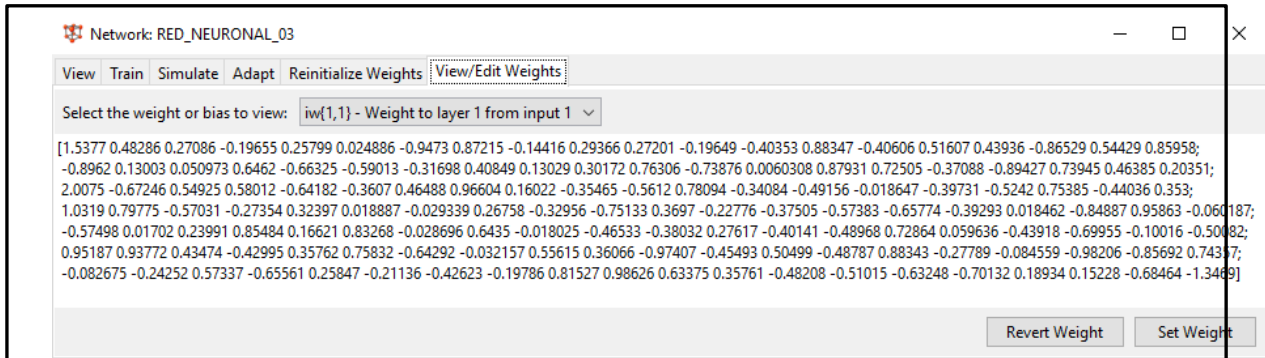


Figura 56. Pesos desde la capa de entrada hacia la capa oculta de la Red_Neuronal_03

Los pesos que salen desde la capa oculta hacia la capa de salida son en total 7 conexiones, que se representan de forma numérica como se puede observar en la figura 57.

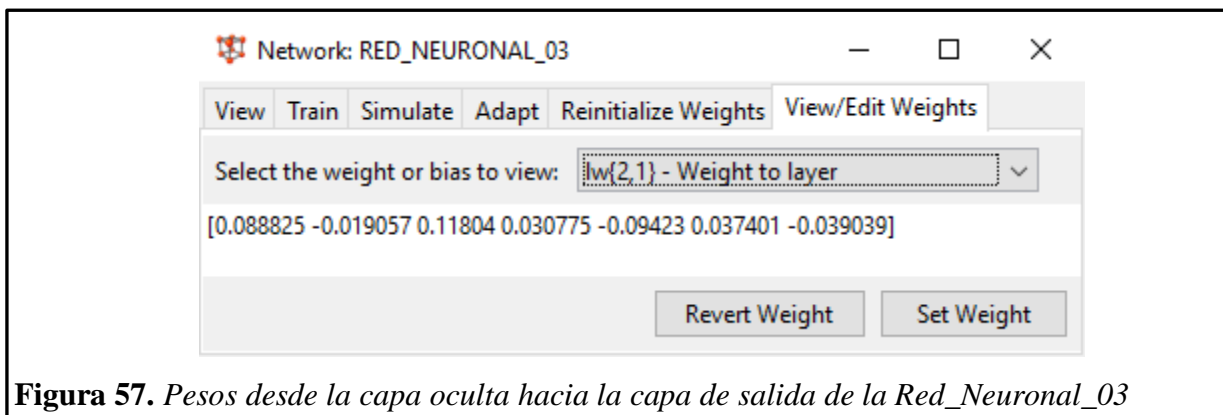
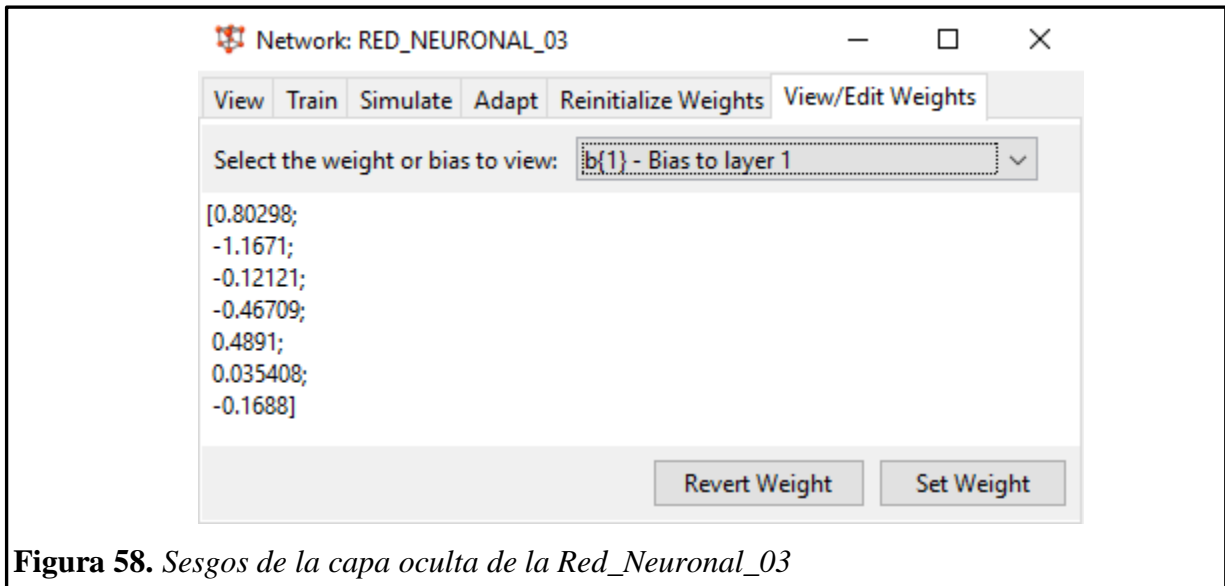
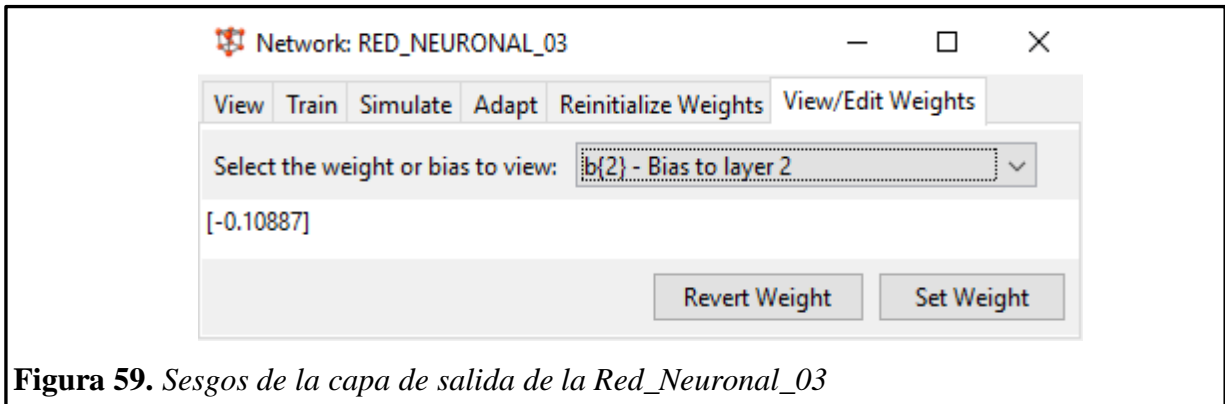


Figura 57. Pesos desde la capa oculta hacia la capa de salida de la Red_Neuronal_03

Los sesgos o bias que le corresponden a cada neurona de la capa oculta son 7, y se presentan en la figura 58.



En la capa de salida solo hay un sesgo o bias debido a que también hay una sola salida. El valor numérico del sesgo se presenta en la figura 59.



La figura 60 nos presenta los valores de las resistencias a la compresión del concreto pronosticadas mediante la Red Neuronal_03 vs las resistencias a la compresión reales del conjunto TARGET. El R^2 obtenido es 0.8976.

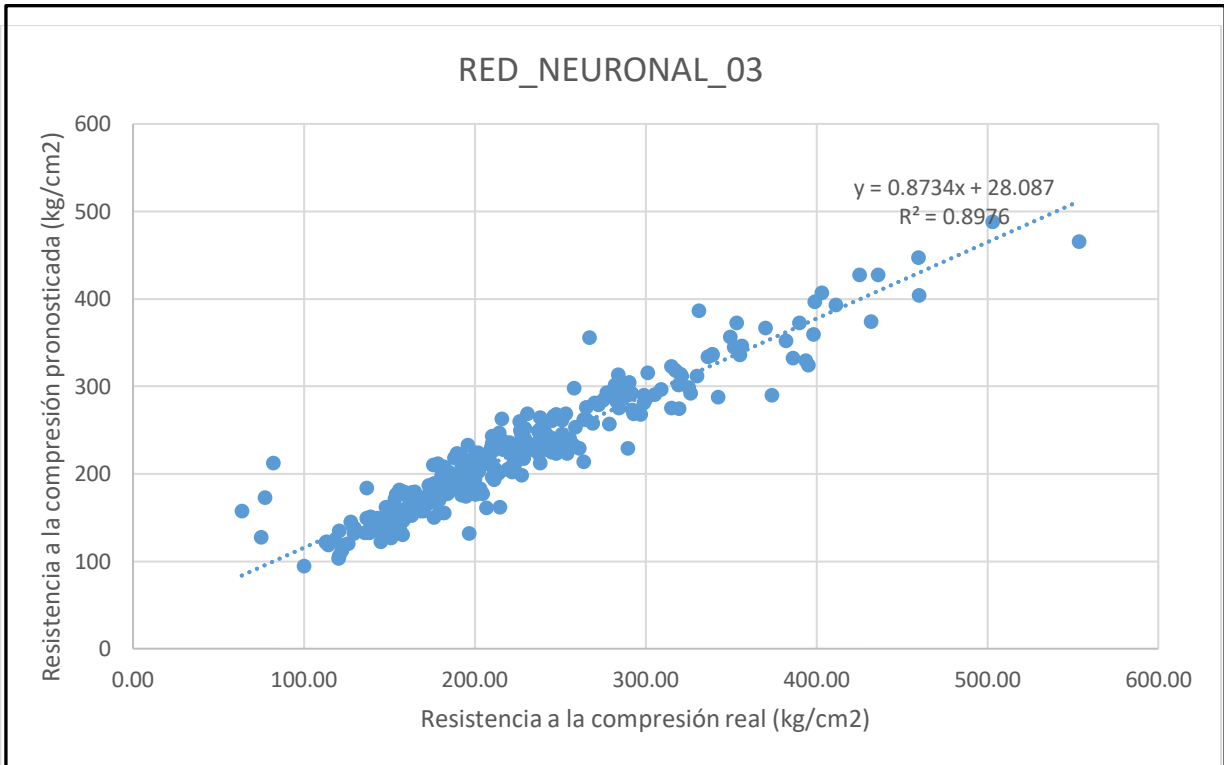


Figura 60. Comparación de las resistencias a la compresión del concreto reales con las pronosticadas mediante la Red_Neuronal_03

RED NEURONAL ARTIFICIAL 4

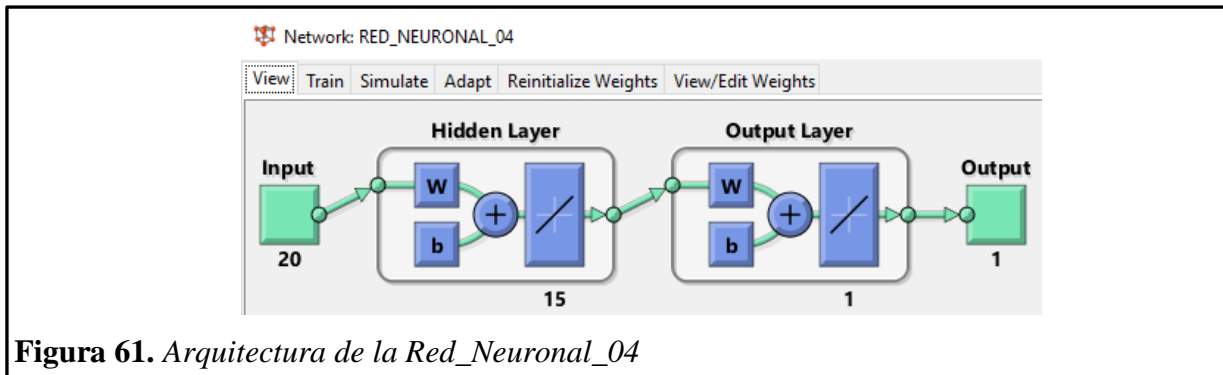


Figura 61. *Arquitectura de la Red Neuronal_04*

Numero de neuronas por capa:

Capa de entrada: 20 neuronas

Capa oculta: 15 neuronas

Capa de salida: 1 neurona

Función de activación:

Capa oculta: función lineal (PURELIN)

Capa de salida: función lineal (PURELIN)

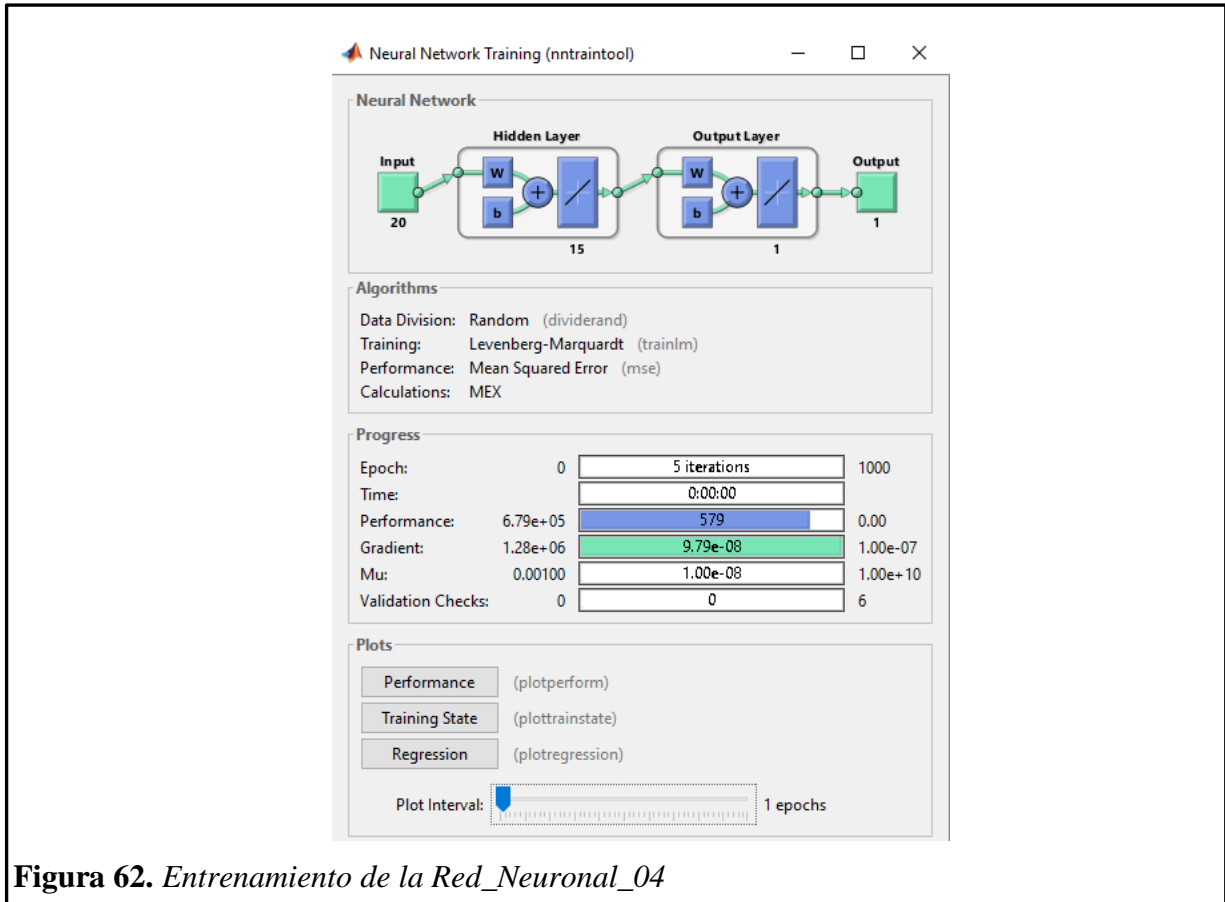


Figura 62. Entrenamiento de la Red Neuronal_04

La figura 63 nos presenta el comportamiento del error medio cuadrático con respecto a las iteraciones, y se observa que tanto el conjunto de entrenamiento, validación y test disminuyen hasta la iteración 5. El proceso de entrenamiento termina en la iteración N° 5.

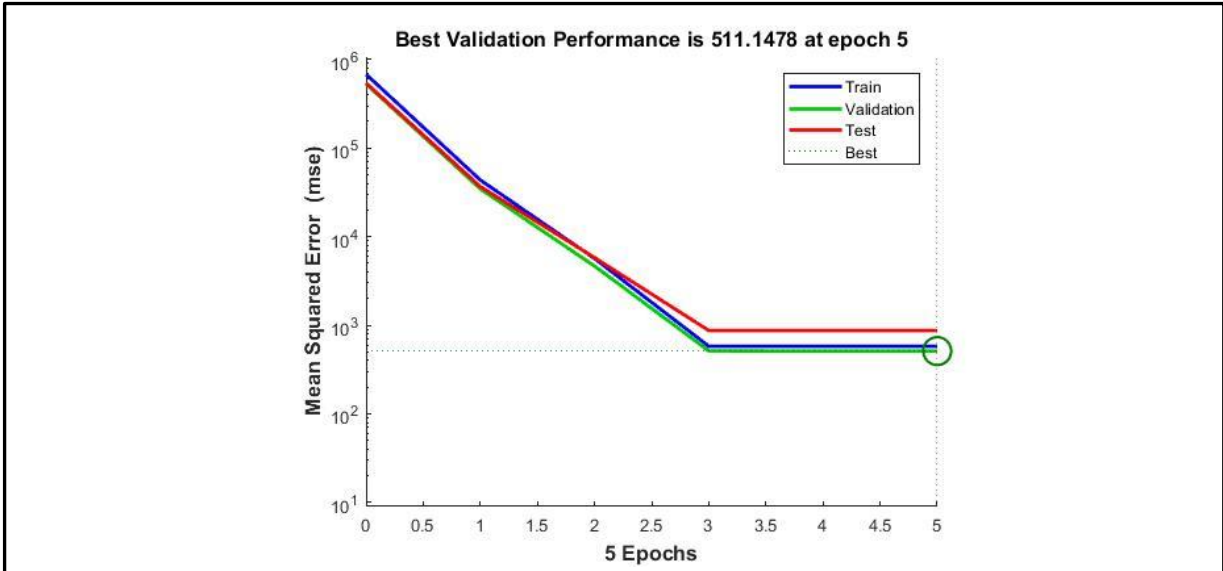


Figura 63. Evolución del error en función del número de iteraciones de la Red_Neural_04

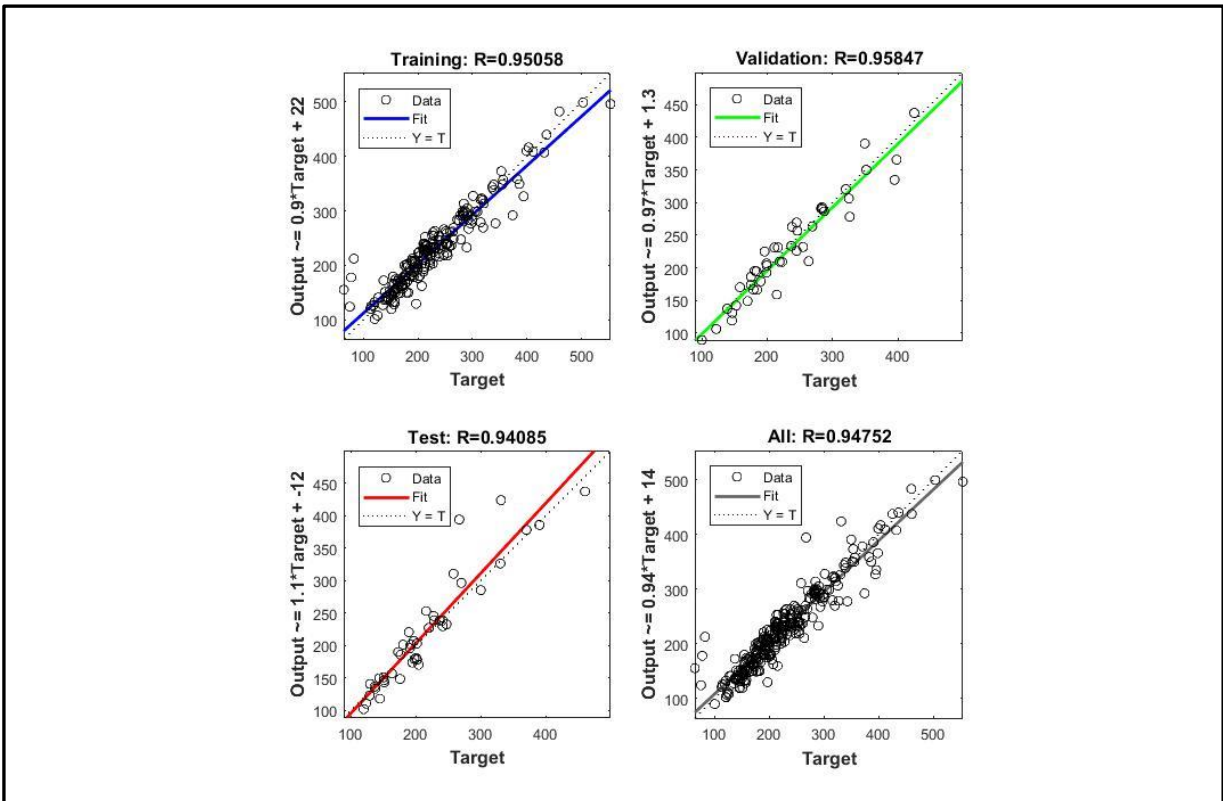


Figura 64. Regresión para los datos de entrenamiento, validación, test y total de datos con la Red_Neural_04

Los pesos que salen desde la capa de entrada, y se dirigen hacia la capa oculta son en total 300 conexiones, que se representan de forma numérica como se muestra en la figura 65.

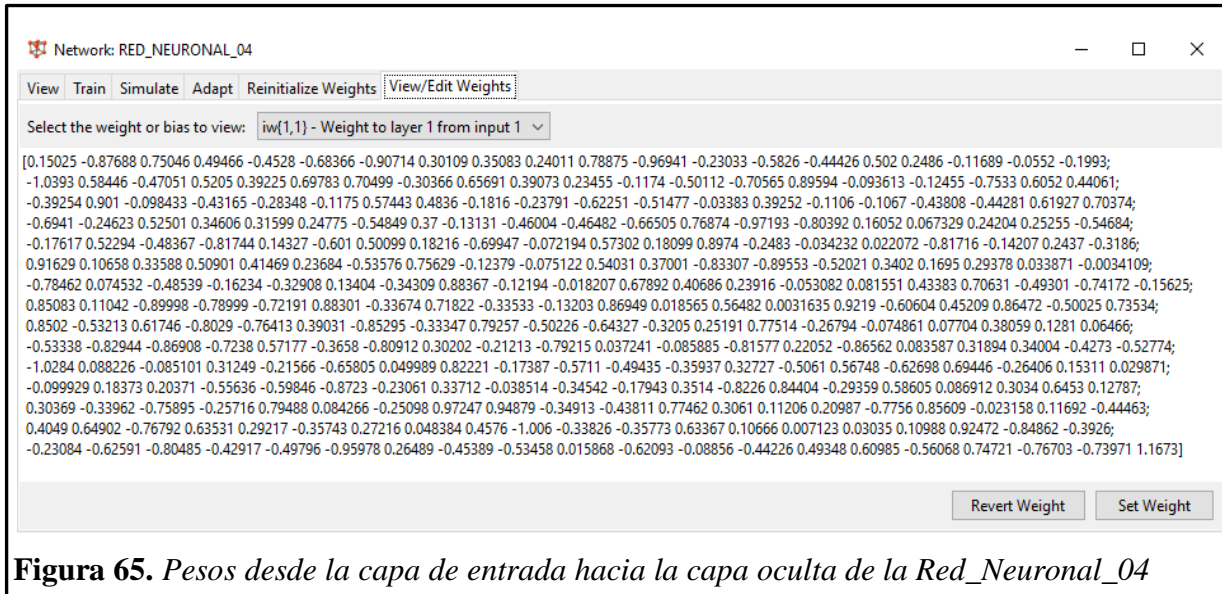


Figura 65. Pesos desde la capa de entrada hacia la capa oculta de la Red_Neuronal_04

Los pesos que salen desde la capa oculta hacia la capa de salida son en total 15 conexiones, que se representan de forma numérica como se puede observar en la figura 66.

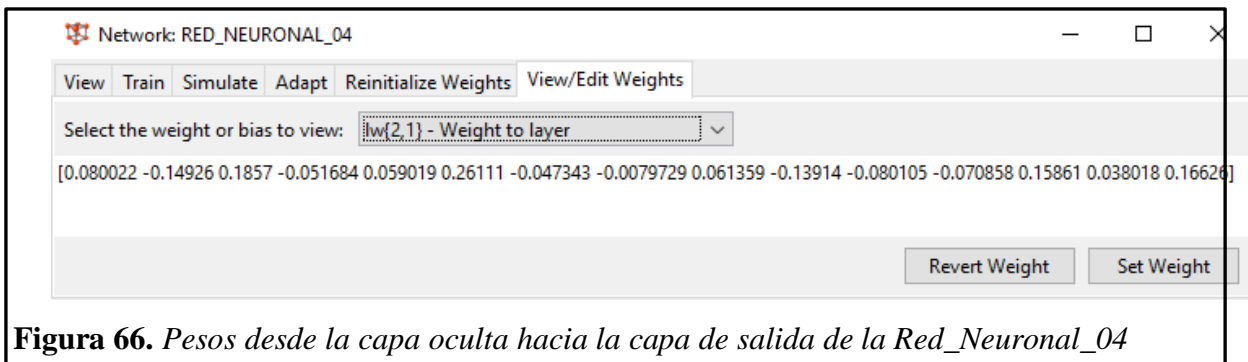
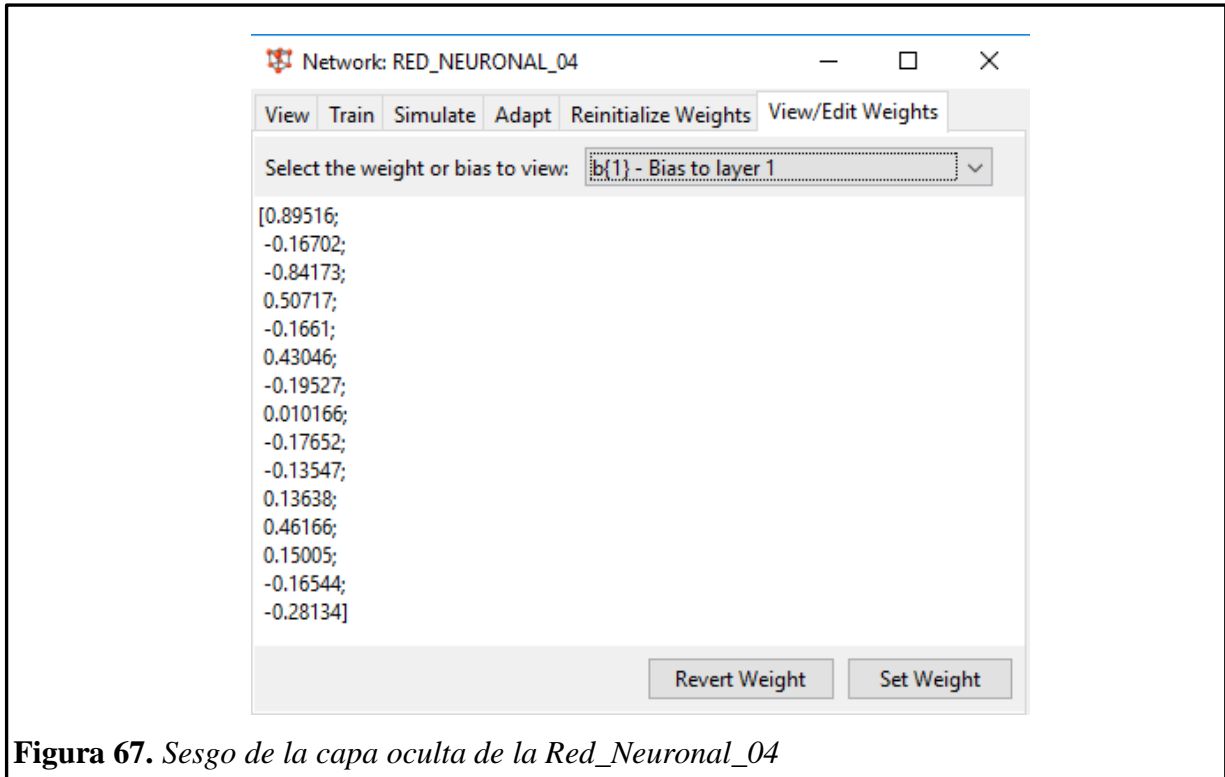
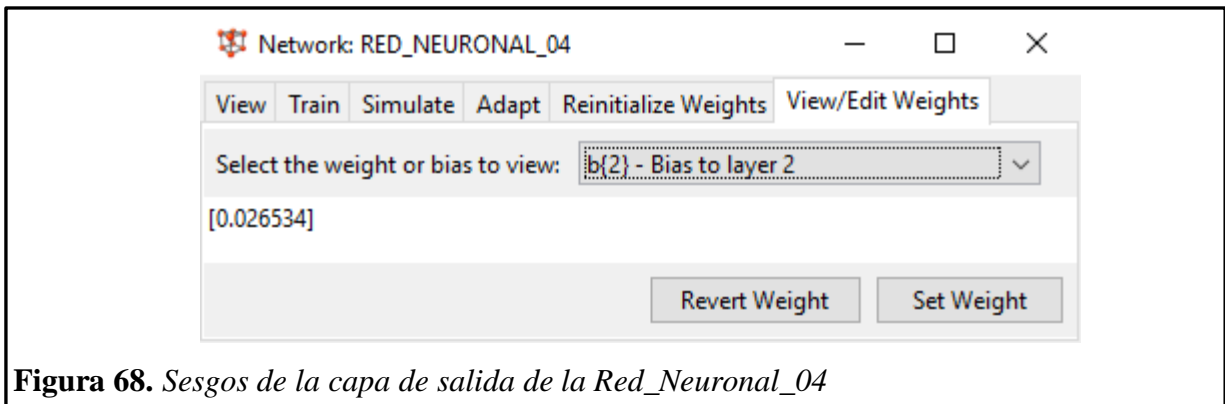


Figura 66. Pesos desde la capa oculta hacia la capa de salida de la Red_Neuronal_04

Los sesgos o bias que le corresponden a cada neurona de la capa oculta son 15, y se presentan en la figura 67.



En la capa de salida solo hay un sesgo o bias debido a que también hay una sola salida. El valor numérico del sesgo se presenta en la figura 68.



La figura 69 nos presenta los valores de las resistencias a la compresión del concreto pronosticadas mediante la Red Neuronal_04 vs las resistencias a la compresión reales del conjunto TARGET. El R^2 obtenido es 0.8978.

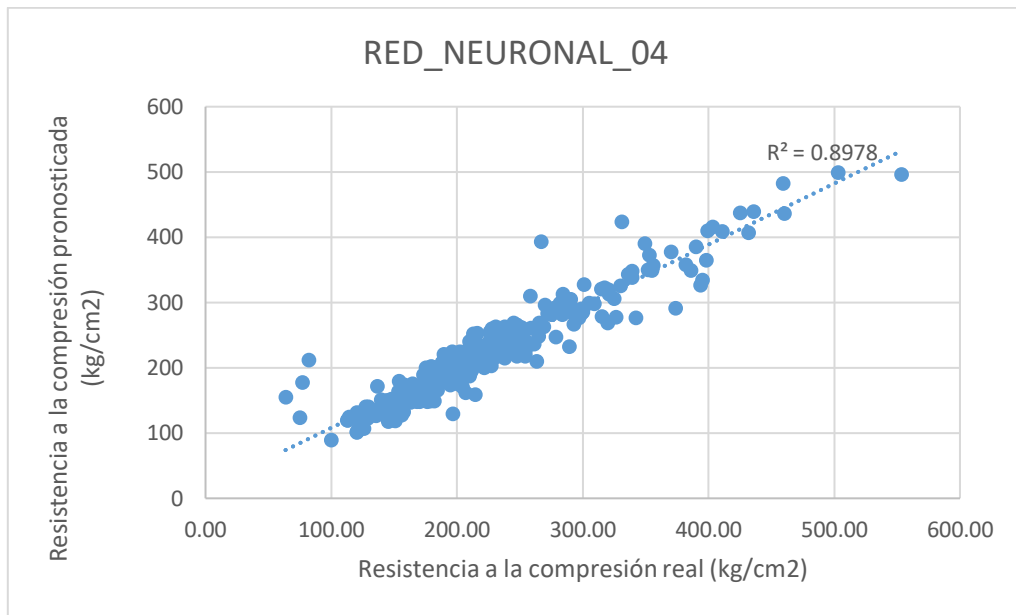


Figura 69. Comparación de las resistencias a la compresión del concreto reales con las pronosticadas mediante la Red_Neuronal_04

RED NEURONAL ARTIFICIAL 5

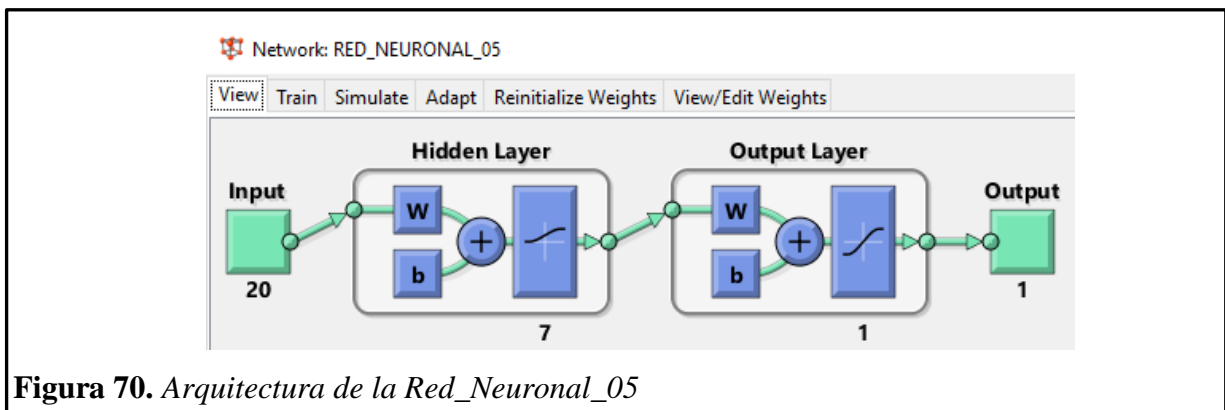


Figura 70. *Arquitectura de la Red_Neuronal_05*

Numero de neuronas por capa:

Capa de entrada: 20 neuronas

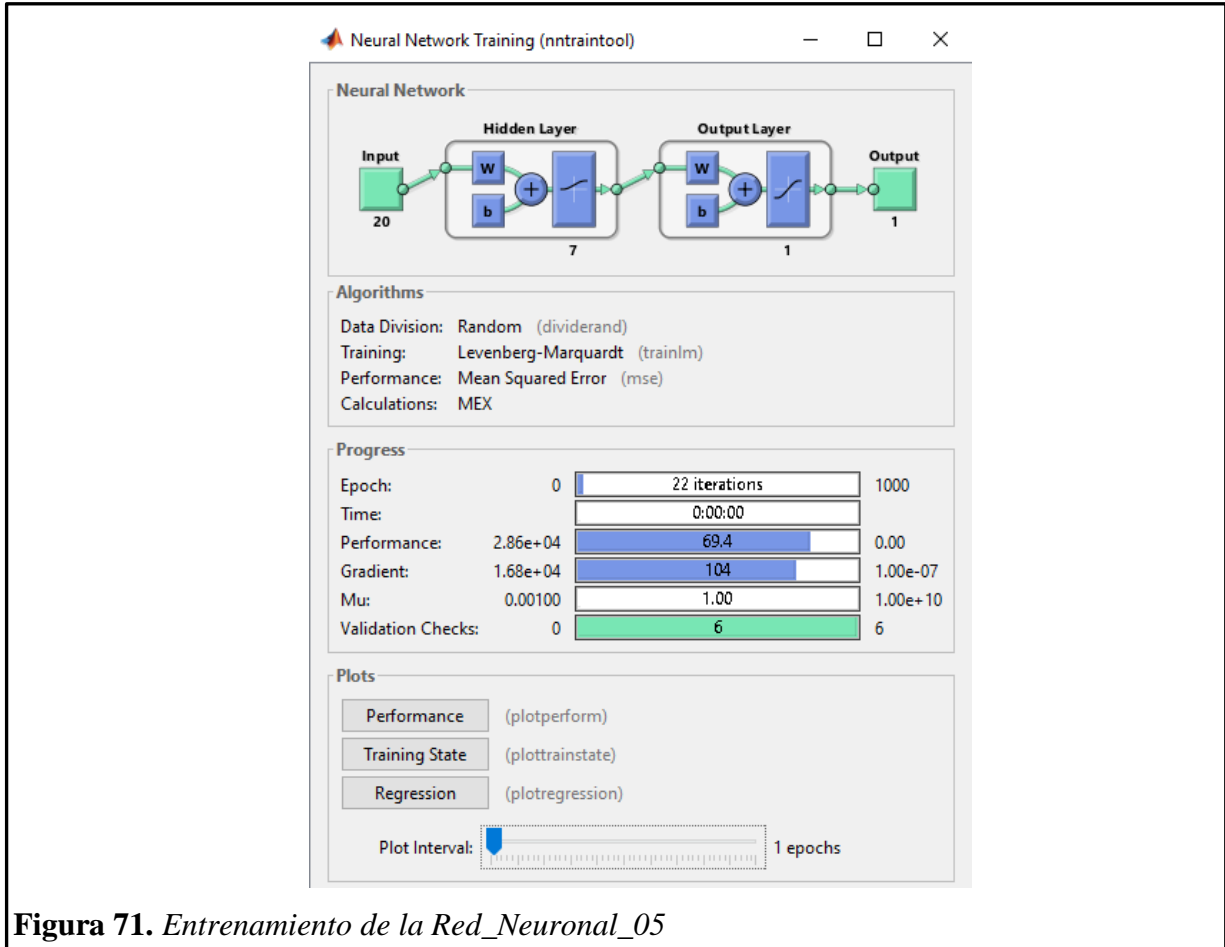
Capa oculta: 7 neuronas

Capa de salida: 1 neurona

Función de activación:

Capa oculta: función Logaritmo Sigmoidal (LOGSIG)

Capa de salida: función Tangente Sigmoidal (TANSIG)



La figura 70 nos presenta el comportamiento del error medio cuadrático con respecto a las iteraciones, y se observa que tanto el conjunto de entrenamiento, validación y test disminuyen hasta la iteración 16. El proceso de entrenamiento termina en la iteración N° 22.

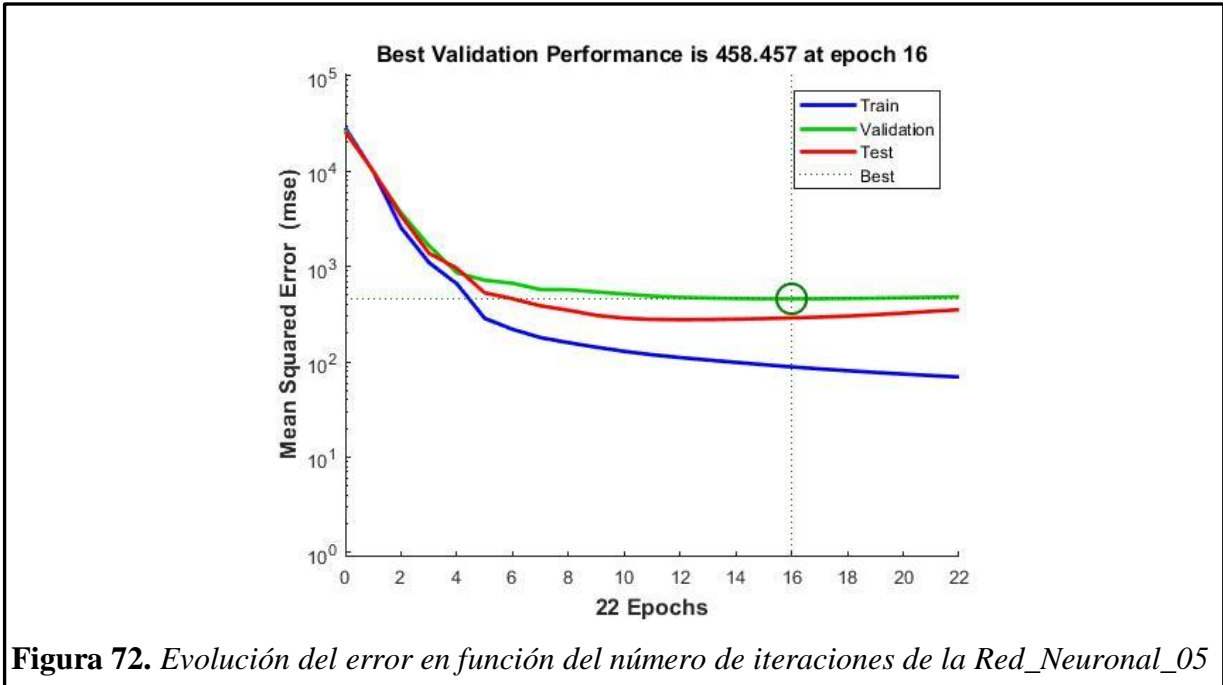


Figura 72. Evolución del error en función del número de iteraciones de la Red_Neural_05

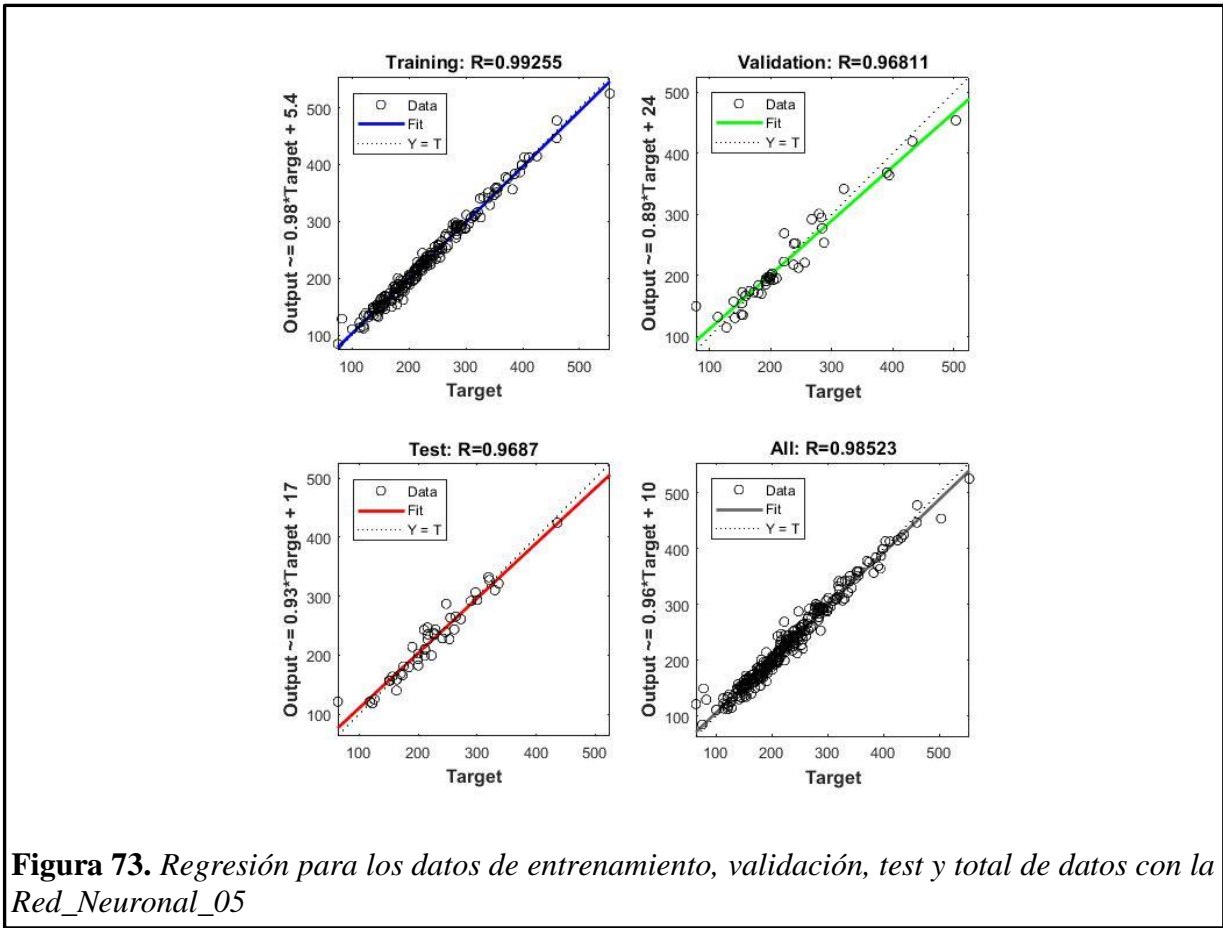


Figura 73. Regresión para los datos de entrenamiento, validación, test y total de datos con la Red_Neural_05

Los pesos que salen desde la capa de entrada, y se dirigen hacia la capa oculta son en total 140 conexiones, que se representan de forma numérica como se muestra en la figura 74.

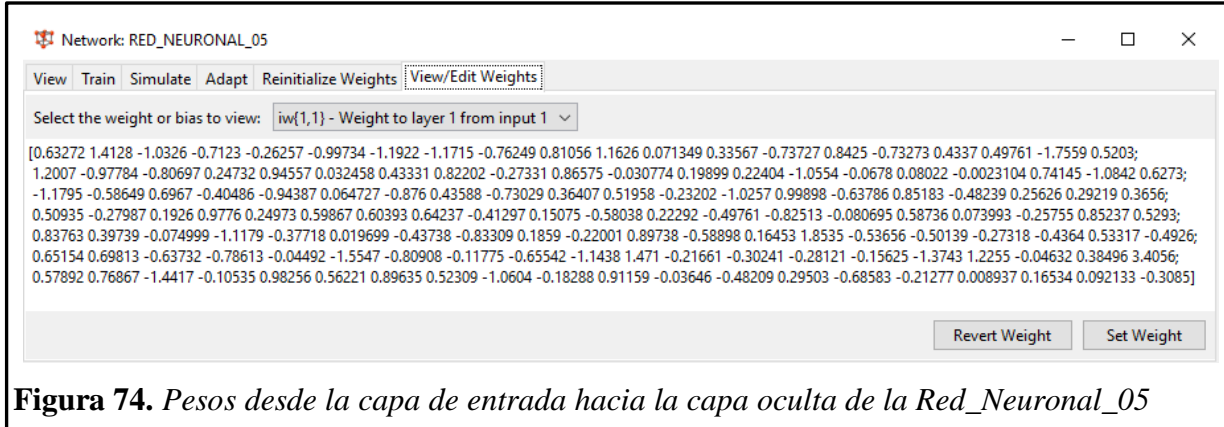


Figura 74. Pesos desde la capa de entrada hacia la capa oculta de la Red_Neuronal_05

Los pesos que salen desde la capa oculta hacia la capa de salida son en total 7 conexiones, que se representan de forma numérica como se puede observar en la figura 75.

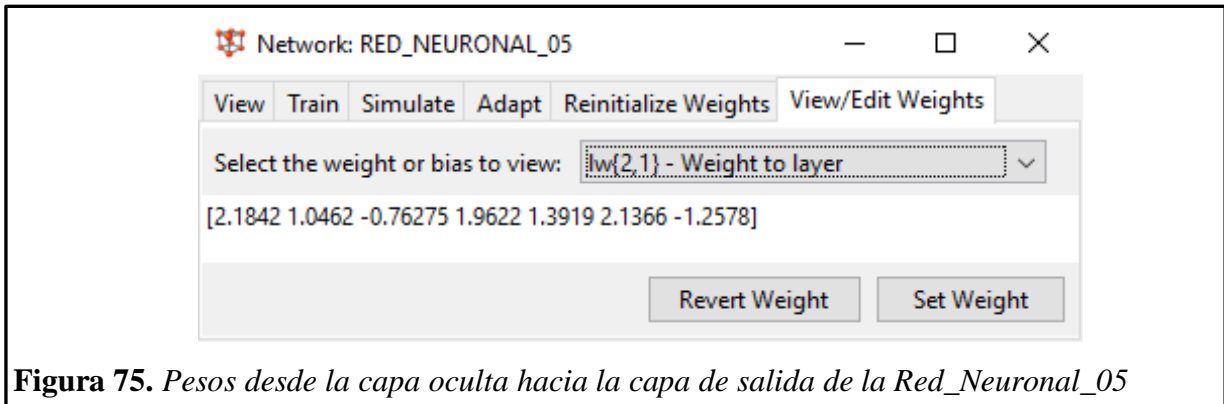


Figura 75. Pesos desde la capa oculta hacia la capa de salida de la Red_Neuronal_05

Los sesgos o bias que le corresponden a cada neurona de la capa oculta son 7, y se presentan en la figura 76.

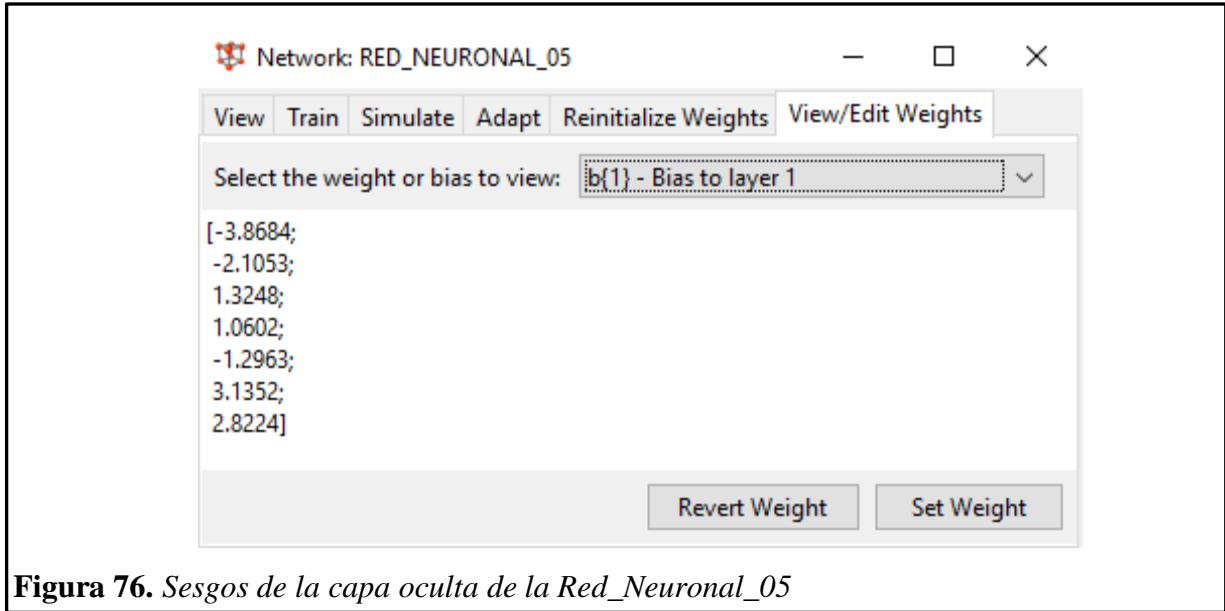


Figura 76. *Sesgos de la capa oculta de la Red_Neuronal_05*

En la capa de salida solo hay un sesgo o bias debido a que también hay una sola salida. El valor numérico del sesgo se presenta en la figura 77.

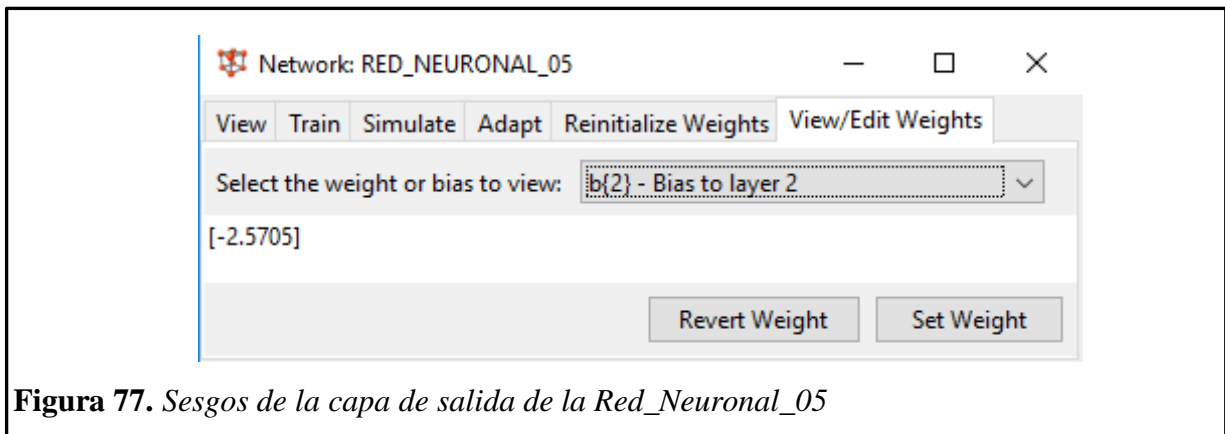


Figura 77. *Sesgos de la capa de salida de la Red_Neuronal_05*

La figura 78 nos presenta los valores de las resistencias a la compresión del concreto pronosticadas mediante la Red Neuronal_05 vs las resistencias a la compresión reales del conjunto TARGET. El R^2 obtenido es 0.9707.

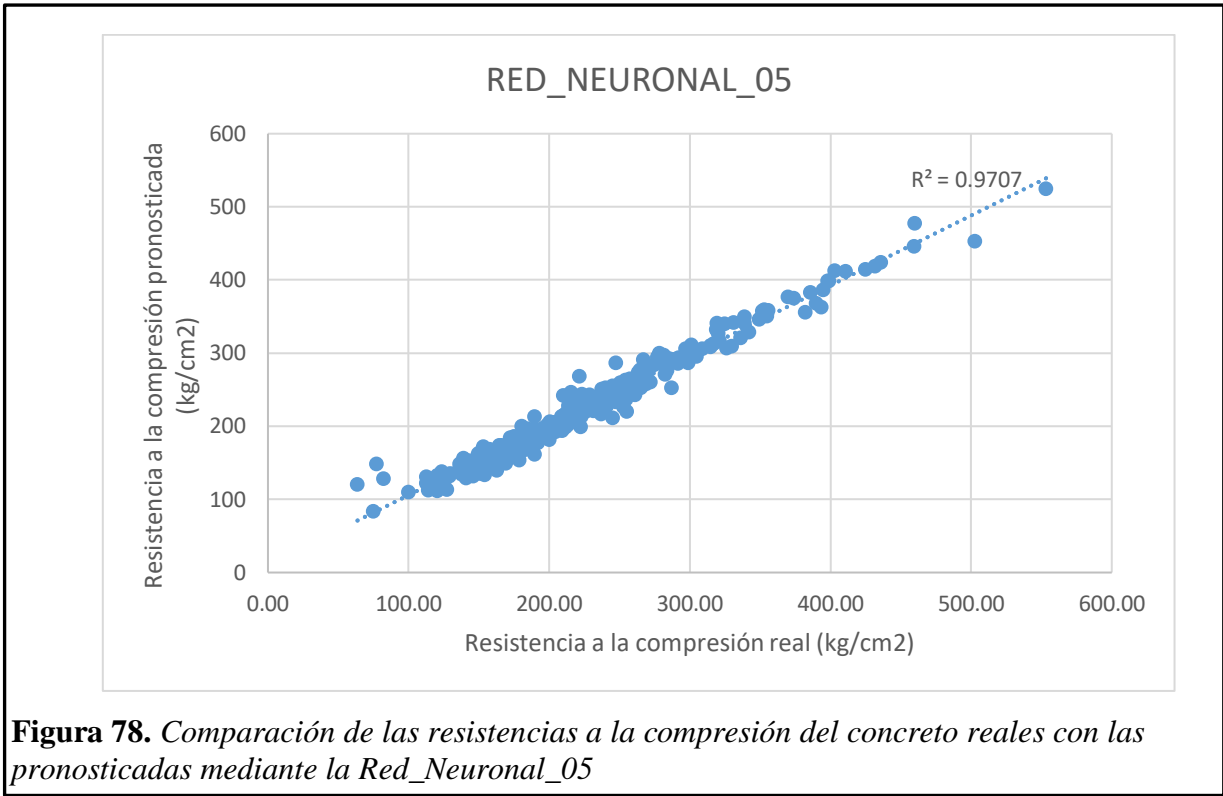


Figura 78. Comparación de las resistencias a la compresión del concreto reales con las pronosticadas mediante la Red_Neuronal_05

RED NEURONAL ARTIFICIAL 6

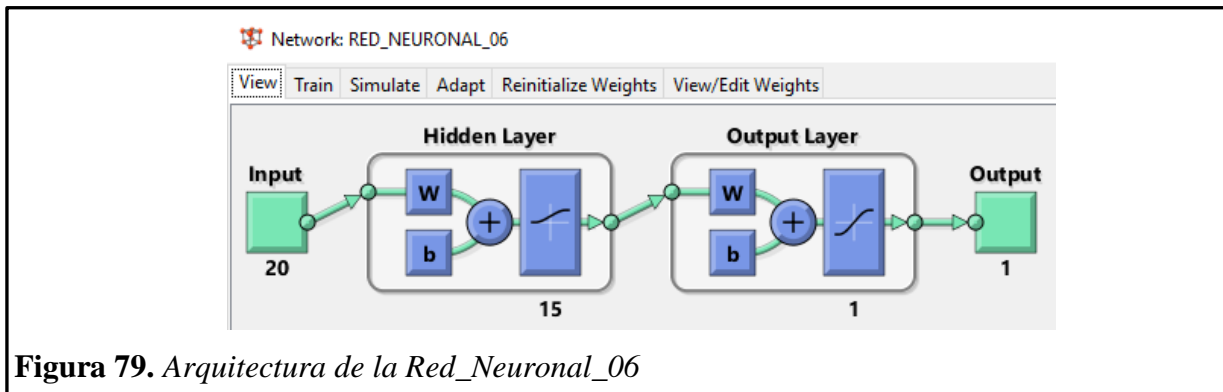


Figura 79. *Arquitectura de la Red_Neuronal_06*

Numero de neuronas por capa:

Capa de entrada: 20 neuronas

Capa oculta: 15 neuronas

Capa de salida: 1 neurona

Función de activación:

Capa oculta: función Logaritmo Sigmoidal (LOGSIG)

Capa de salida: función Tangente Sigmoidal (TANSIG)

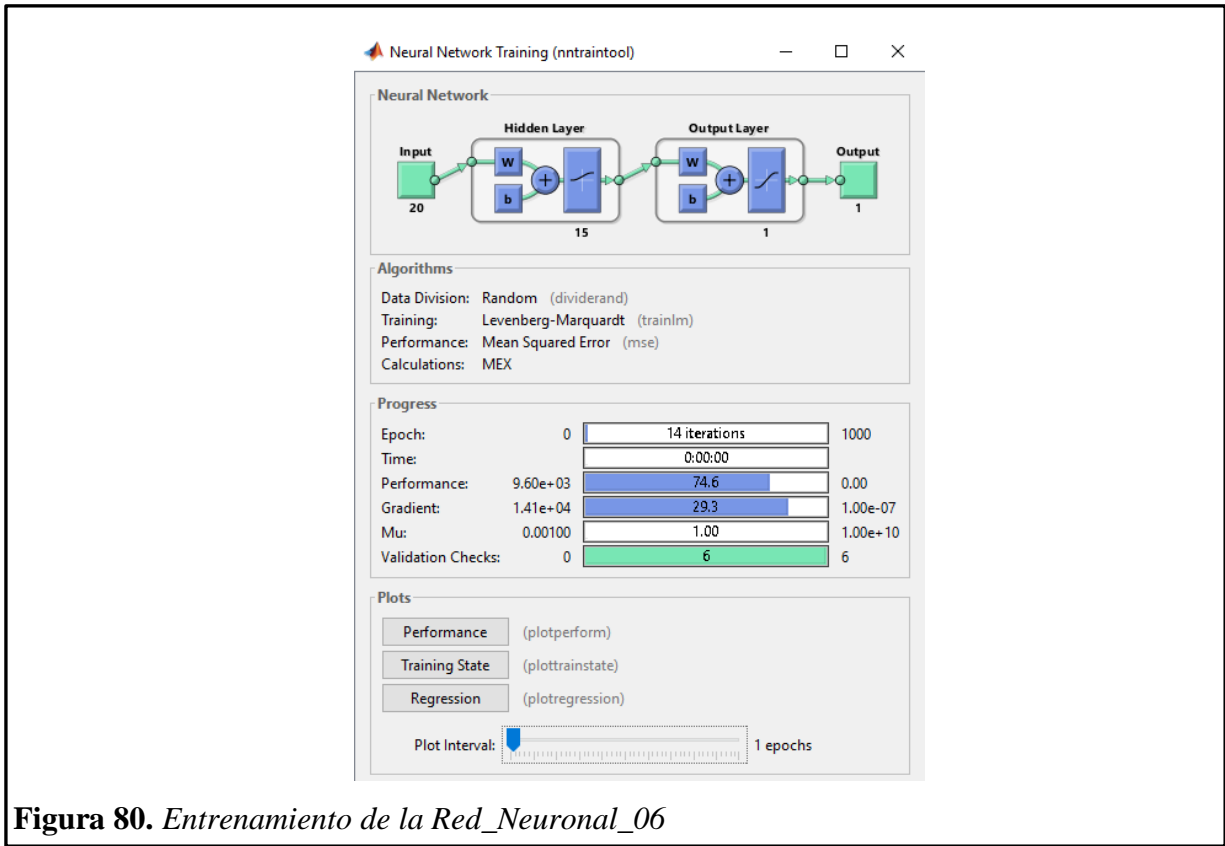


Figura 80. Entrenamiento de la Red Neuronal_06

La figura 81 nos presenta el comportamiento del error medio cuadrático con respecto a las iteraciones, y se observa que tanto el conjunto de entrenamiento, validación y test disminuyen hasta la iteración 8. El proceso de entrenamiento termina en la iteración N° 14.

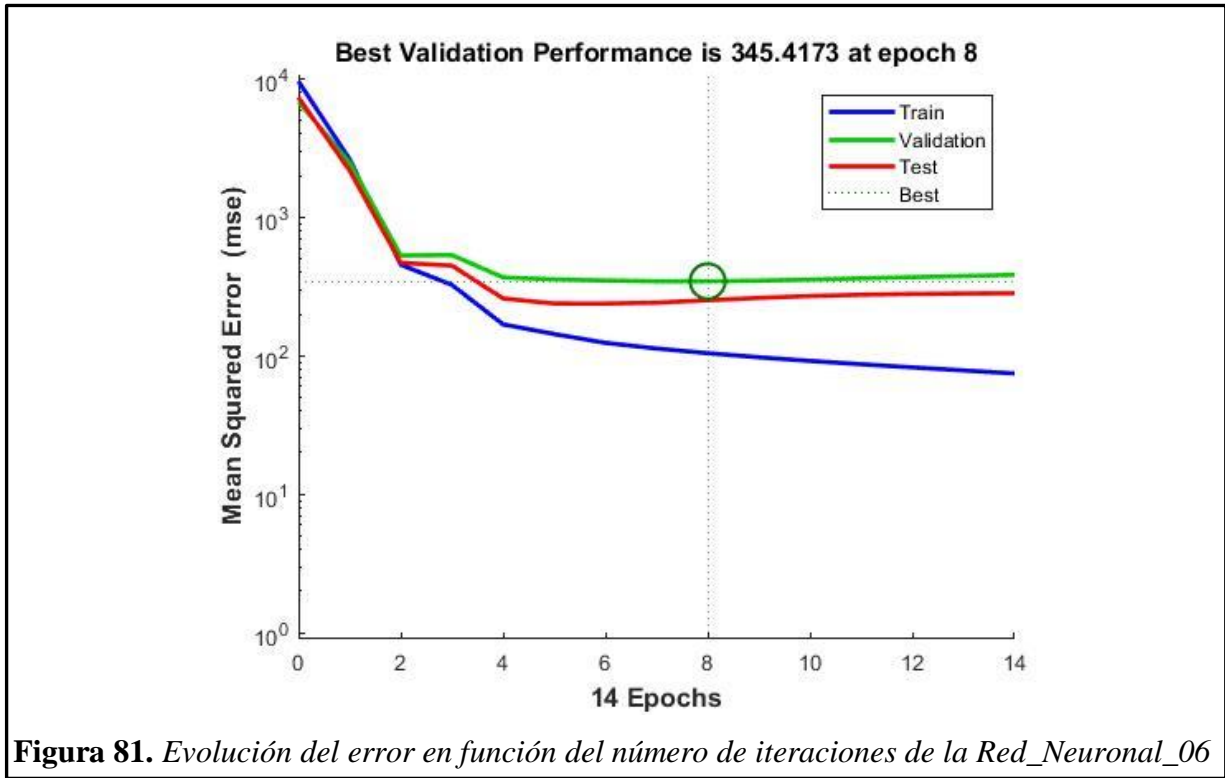


Figura 81. Evolución del error en función del número de iteraciones de la Red_Neuronal_06

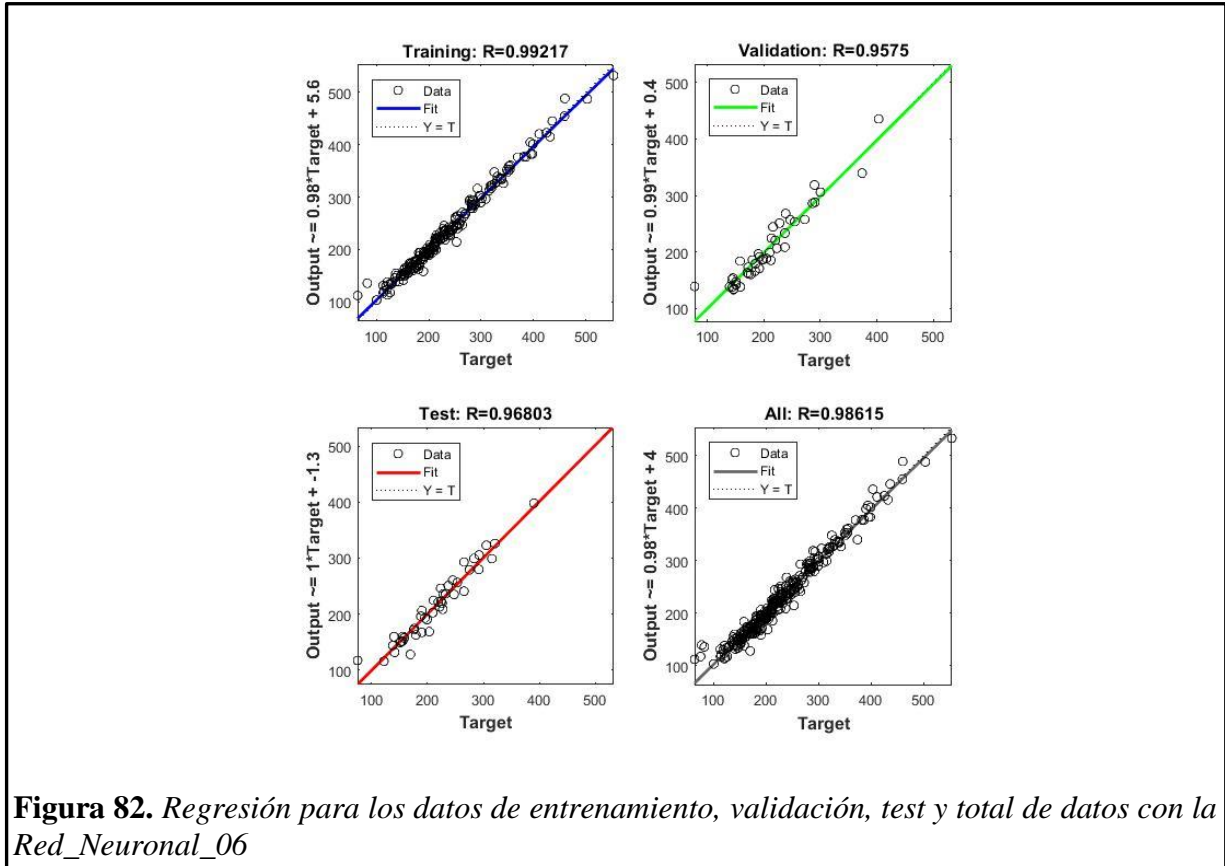


Figura 82. Regresión para los datos de entrenamiento, validación, test y total de datos con la Red_Neuronal_06

Los pesos que salen desde la capa de entrada, y se dirigen hacia la capa oculta son en total 300 conexiones, que se representan de forma numérica como se muestra en la figura 83.

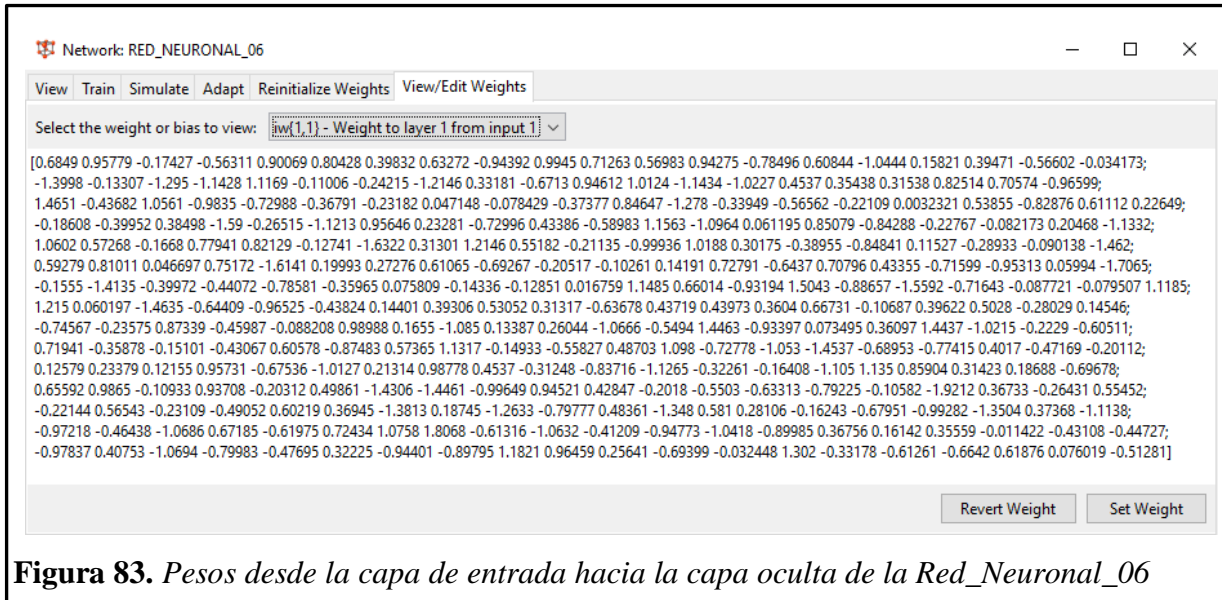


Figura 83. Pesos desde la capa de entrada hacia la capa oculta de la Red_Neuronal_06

Los pesos que salen desde la capa oculta hacia la capa de salida son en total 15 conexiones, que se representan de forma numérica como se puede observar en la figura 84.

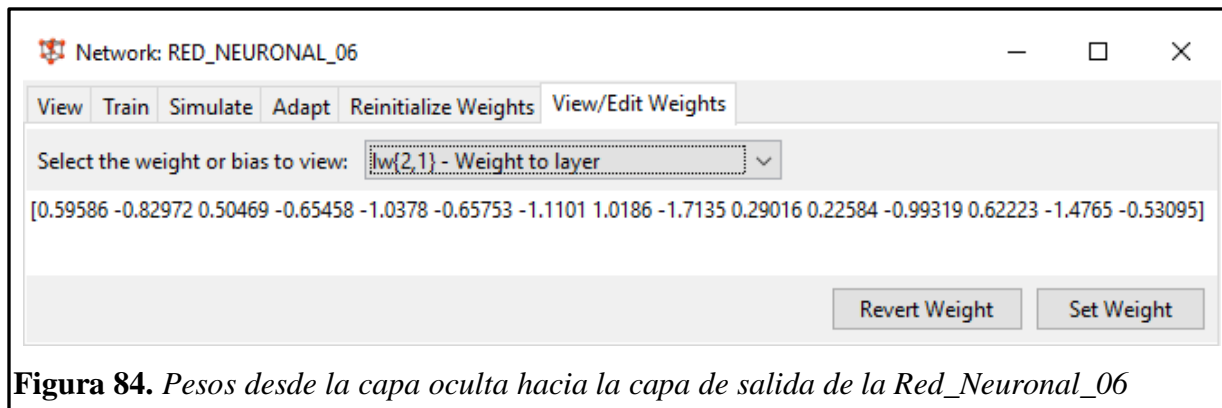
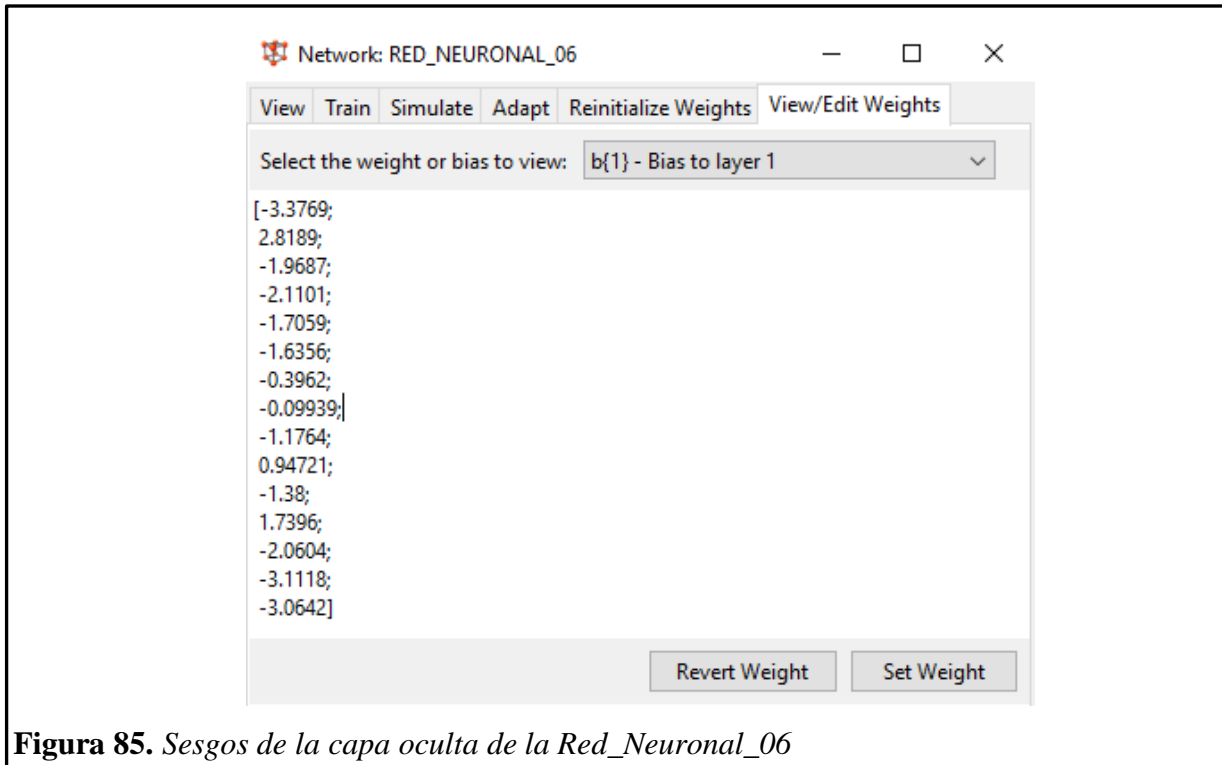
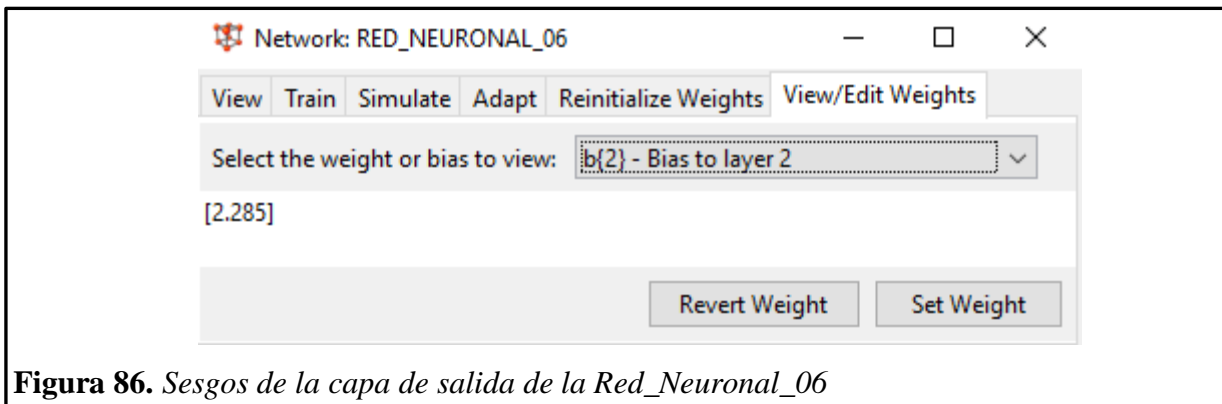


Figura 84. Pesos desde la capa oculta hacia la capa de salida de la Red_Neuronal_06

Los sesgos o bias que le corresponden a cada neurona de la capa oculta son 15, y se presentan en la figura 85.



En la capa de salida solo hay un sesgo o bias debido a que también hay una sola salida. El valor numérico del sesgo se presenta en la figura 86.



La figura 87 nos presenta los valores de las resistencias a la compresión del concreto pronosticadas mediante la Red Neuronal_06 vs las resistencias a la compresión reales del conjunto TARGET. El R^2 obtenido es 0.9725.

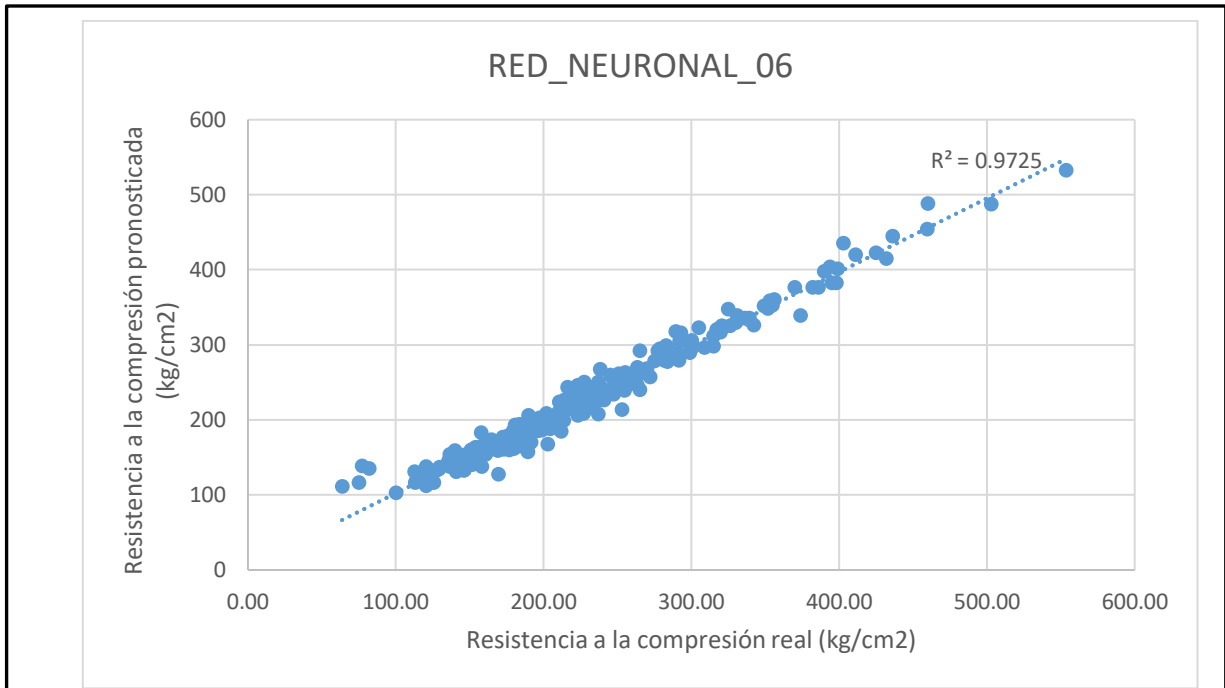


Figura 87. Comparación de las resistencias a la compresión del concreto reales con las pronosticadas mediante la Red_Neuronal_06

RED NEURONAL ARTIFICIAL 7

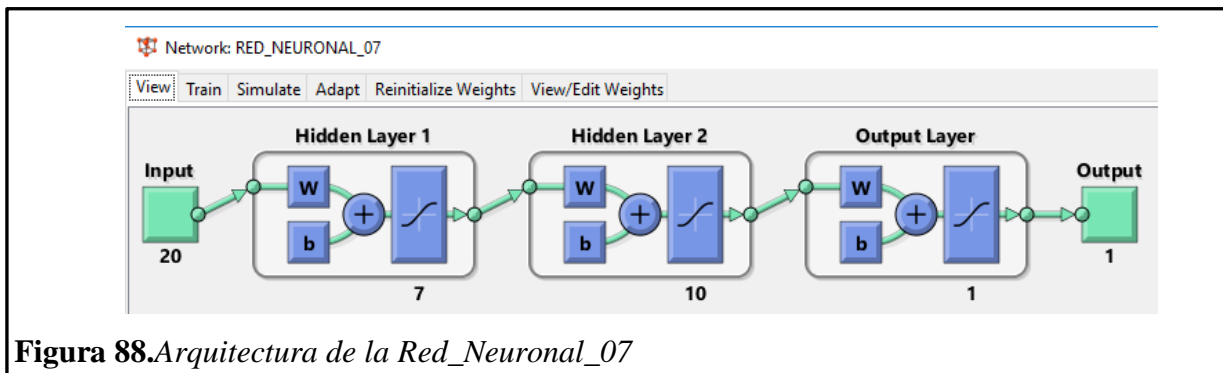


Figura 88.Arquitectura de la Red_Neuronal_07

Numero de neuronas por capa:

Capa de entrada: 20 neuronas

Capa oculta 1: 7 neuronas

Capa oculta 2: 10 neuronas

Capa de salida: 1 neurona

Función de activación:

Capa oculta 1: función Tangente Sigmoidal (TANSIG)

Capa oculta 2: función Tangente Sigmoidal (TANSIG)

Capa de salida: función Tangente Sigmoidal (TANSIG)

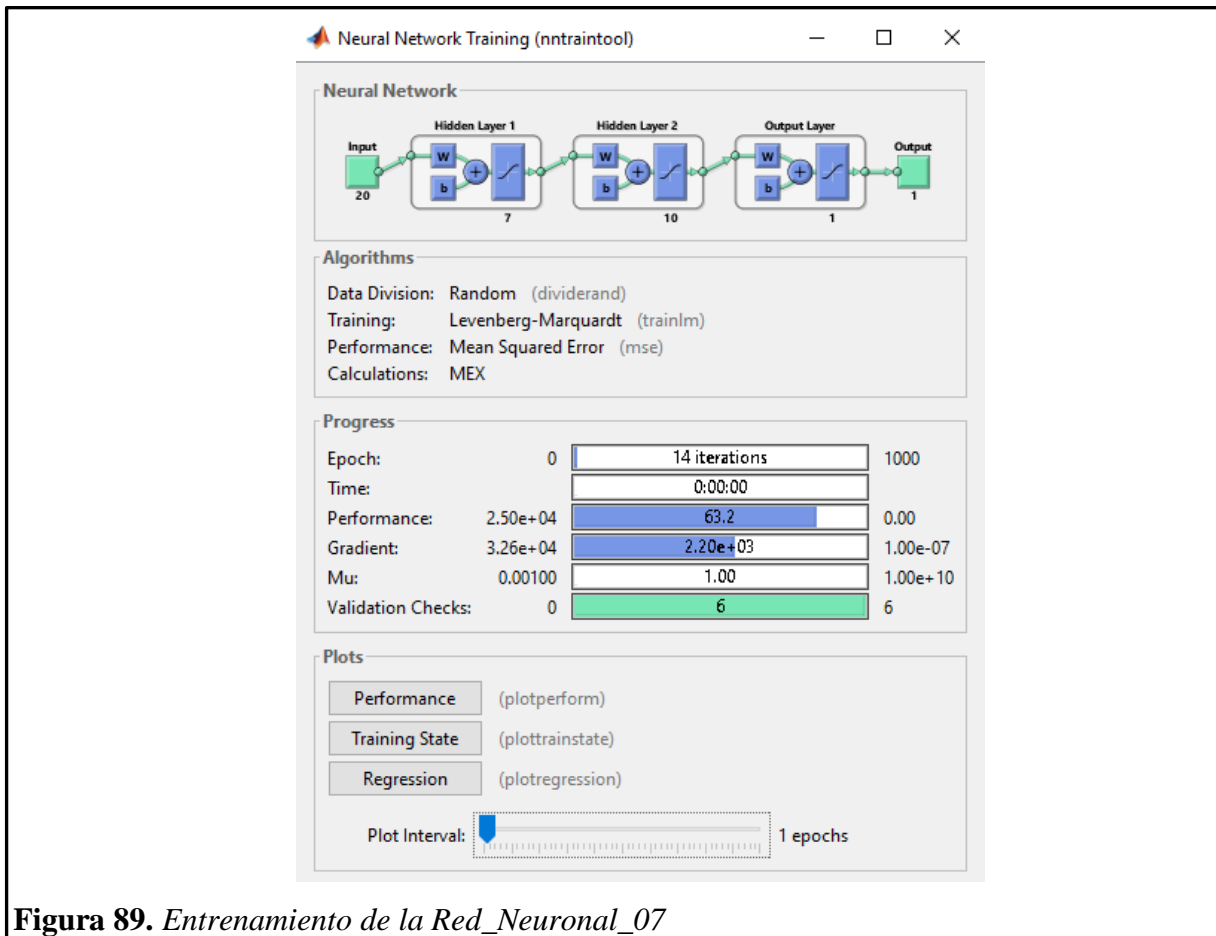


Figura 89. Entrenamiento de la Red_Neuronal_07

La figura 90 nos presenta el comportamiento del error medio cuadrático con respecto a las iteraciones, y se observa que tanto el conjunto de entrenamiento, validación y test disminuyen hasta la iteración 8. El proceso de entrenamiento termina en la iteración N° 14.

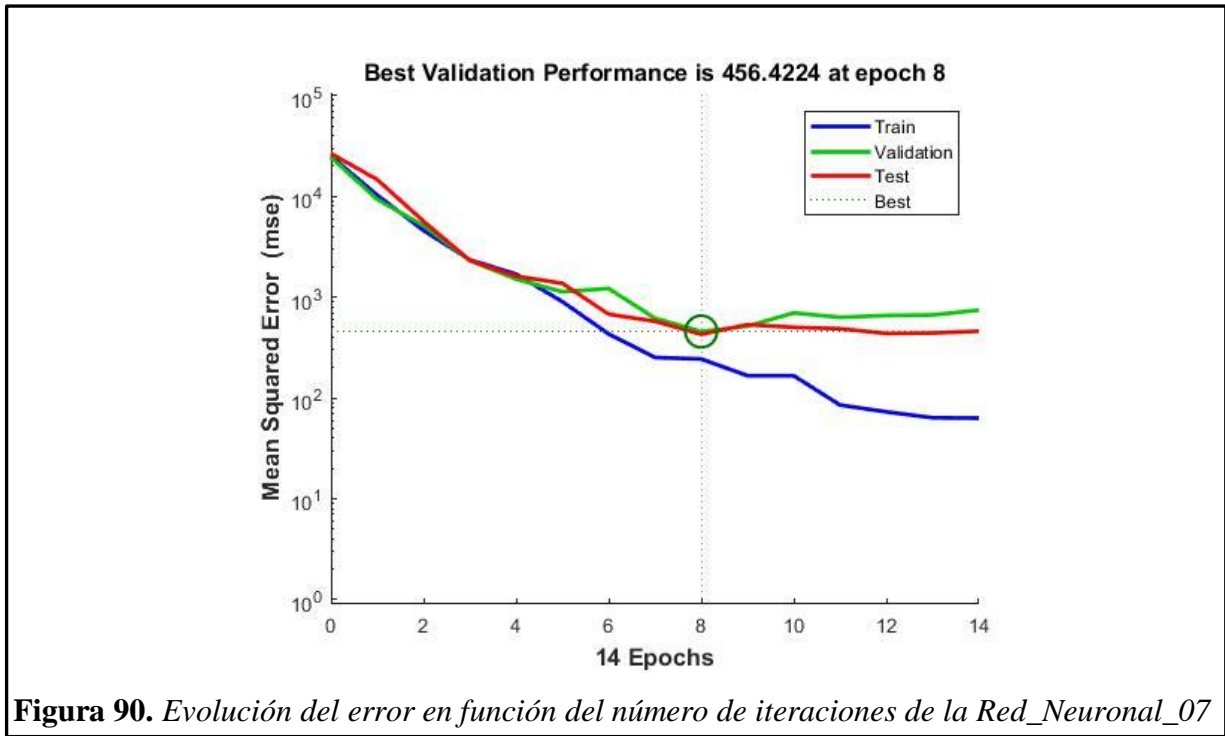


Figura 90. Evolución del error en función del número de iteraciones de la Red_Neural_07

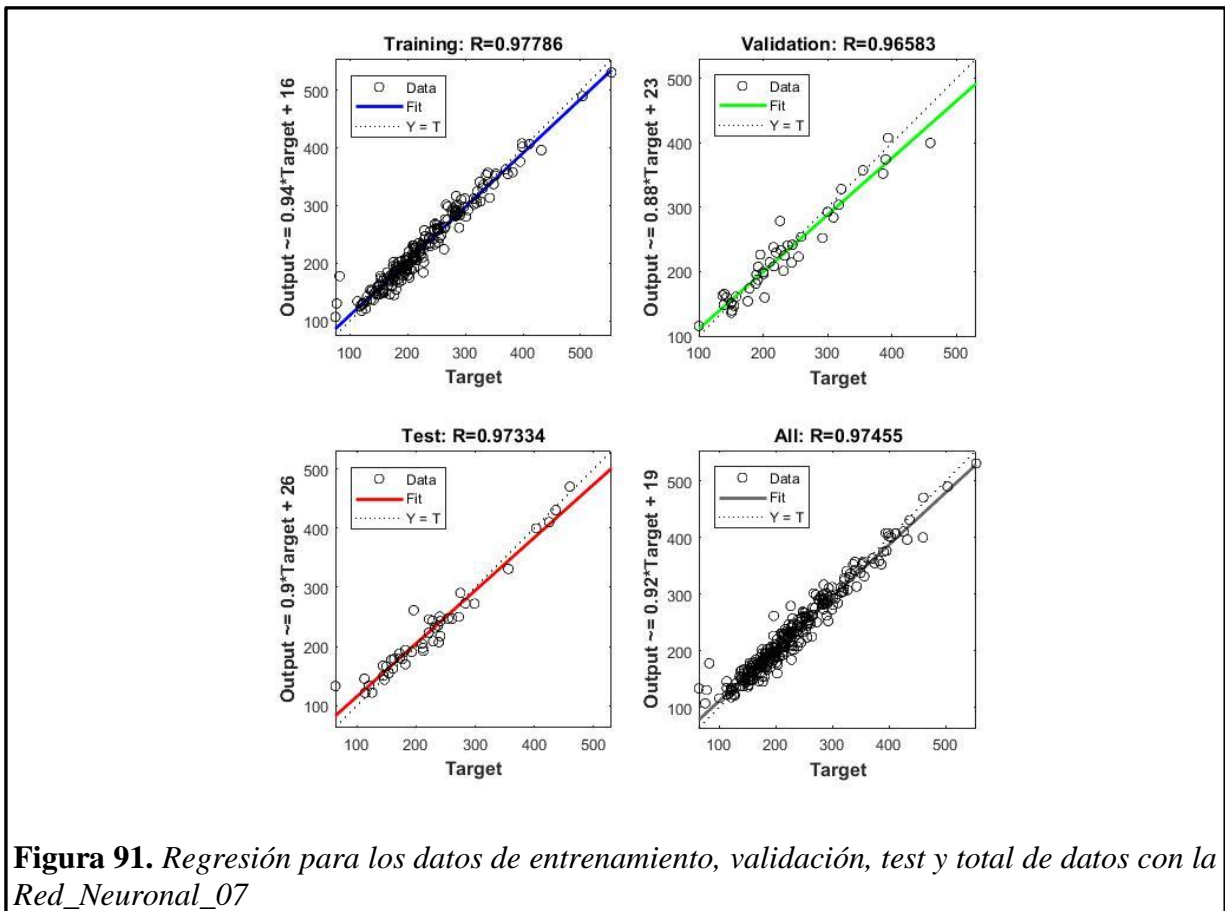


Figura 91. Regresión para los datos de entrenamiento, validación, test y total de datos con la Red_Neural_07

Los pesos que salen desde la capa de entrada, y se dirigen hacia la capa oculta 1 son en total 140 conexiones, que se representan de forma numérica como se muestra en la figura 92.

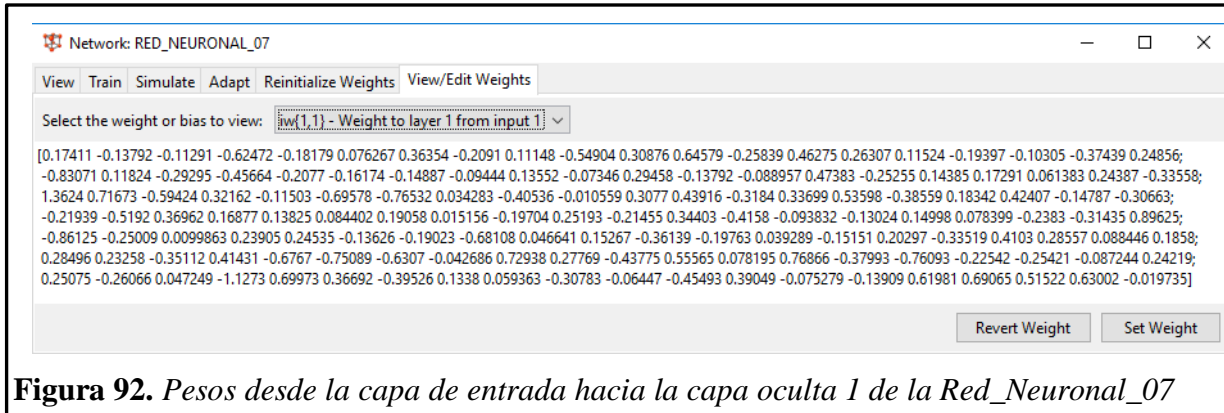


Figura 92. Pesos desde la capa de entrada hacia la capa oculta 1 de la Red_Neuronal_07

Los pesos que salen desde la capa oculta 1 hacia la capa oculta 2 son en total 70 conexiones, que se representan de forma numérica como se puede observar en la figura 93.

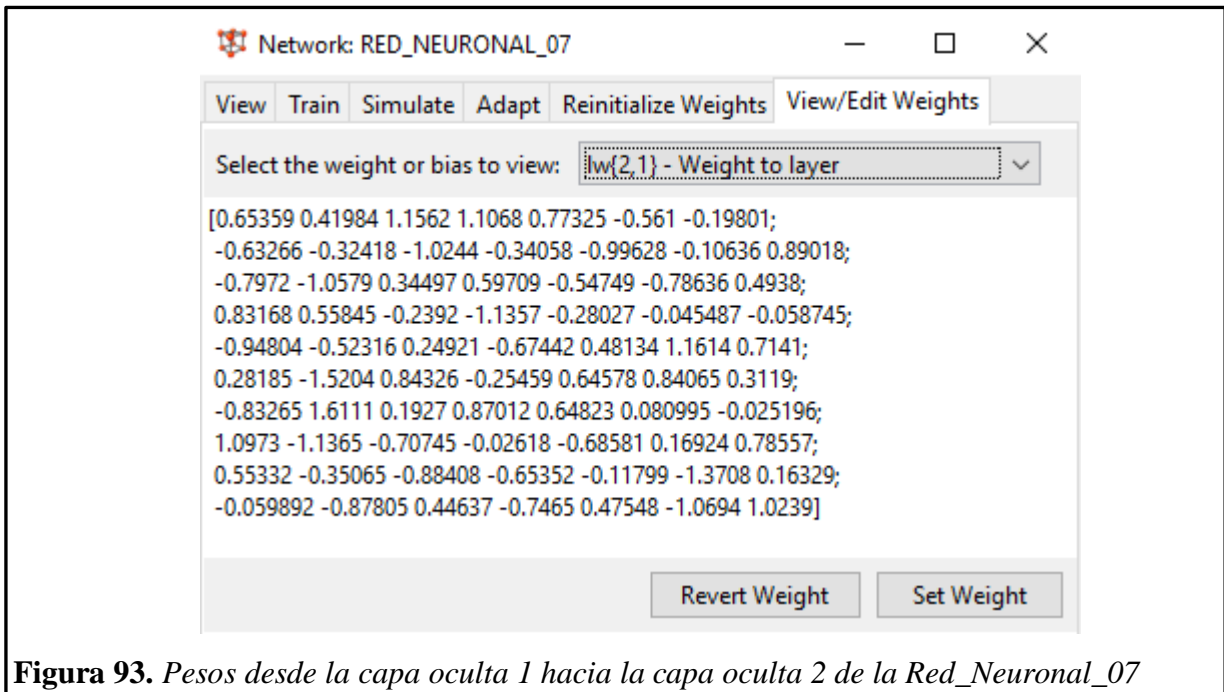


Figura 93. Pesos desde la capa oculta 1 hacia la capa oculta 2 de la Red_Neuronal_07

Los pesos que salen desde la capa oculta 2 hacia la capa de salida son en total 10 conexiones, que se representan de forma numérica como se puede observar en la figura 94.

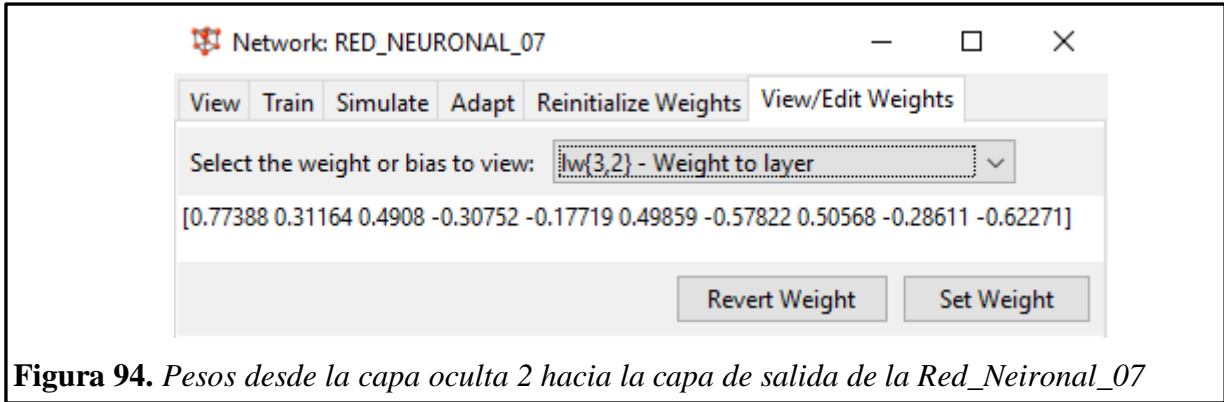


Figura 94. Pesos desde la capa oculta 2 hacia la capa de salida de la Red_Neuronal_07

Los sesgos o bias que le corresponden a cada neurona de la capa oculta 1 son 7, y se presentan en la figura 95.

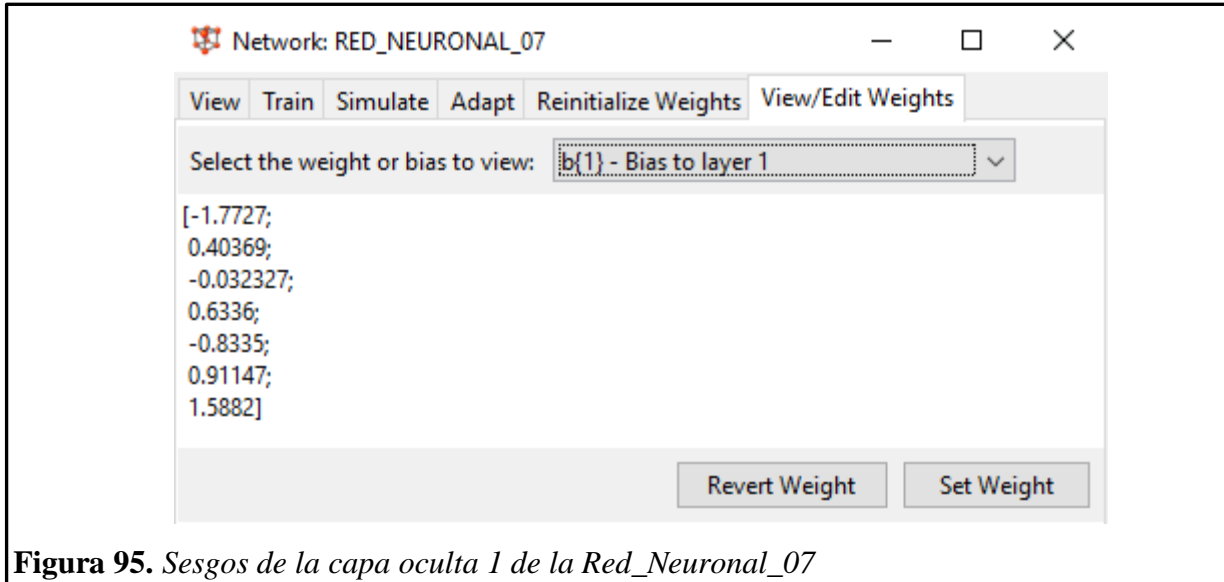


Figura 95. Sesgos de la capa oculta 1 de la Red_Neuronal_07

Los sesgos o bias que le corresponden a cada neurona de la capa oculta 2 son 10, y se presentan en la figura 96.

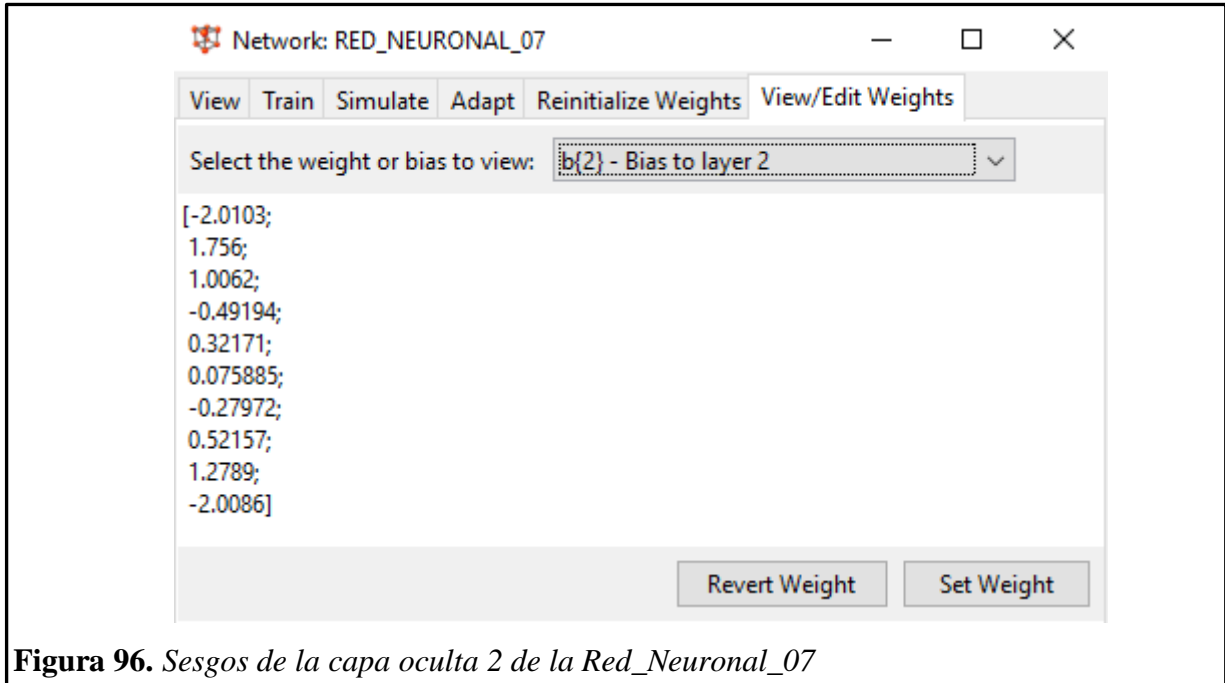


Figura 96. *Sesgos de la capa oculta 2 de la Red_Neuronal_07*

En la capa de salida solo hay un sesgo o bias debido a que también hay una sola salida. El valor numérico del sesgo se presenta en la figura 97.

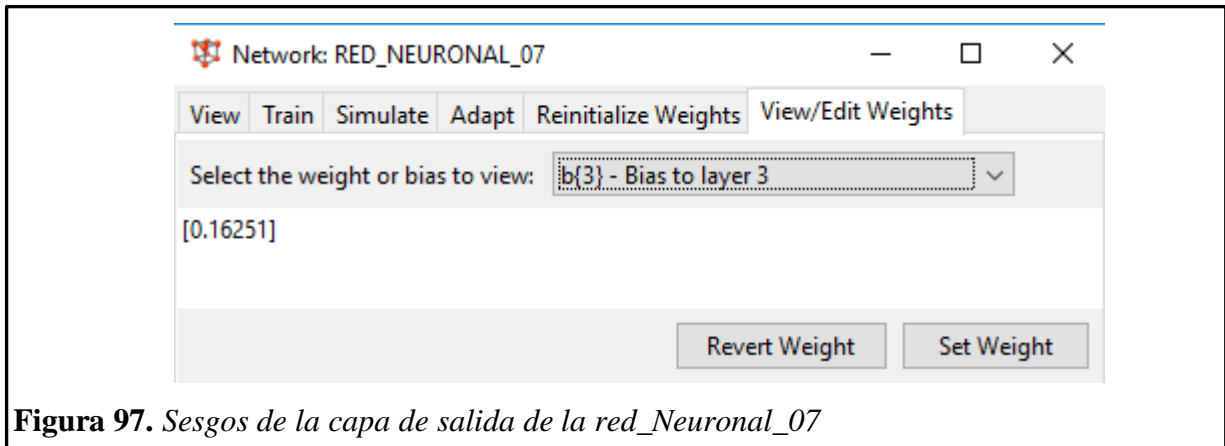


Figura 97. *Sesgos de la capa de salida de la red_Neuronal_07*

La figura 98 nos presenta los valores de las resistencias a la compresión del concreto pronosticadas mediante la Red Neuronal_07 vs las resistencias a la compresión reales del conjunto TARGET. El R^2 obtenido es 0.9498

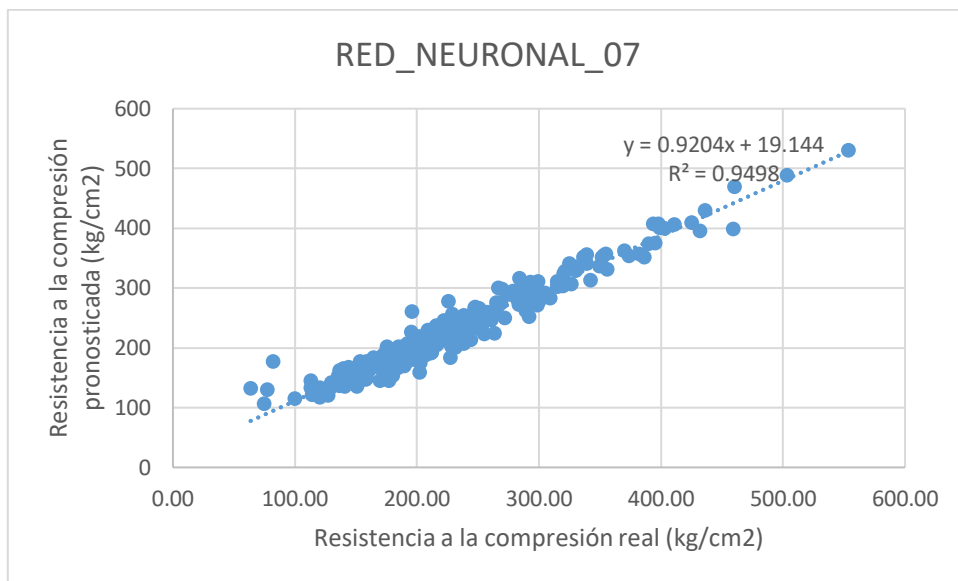


Figura 98. Comparación de las resistencias a la compresión del concreto reales con las pronosticadas mediante la Red_Neuronal_07

RED NEURONAL ARTIFICIAL 8

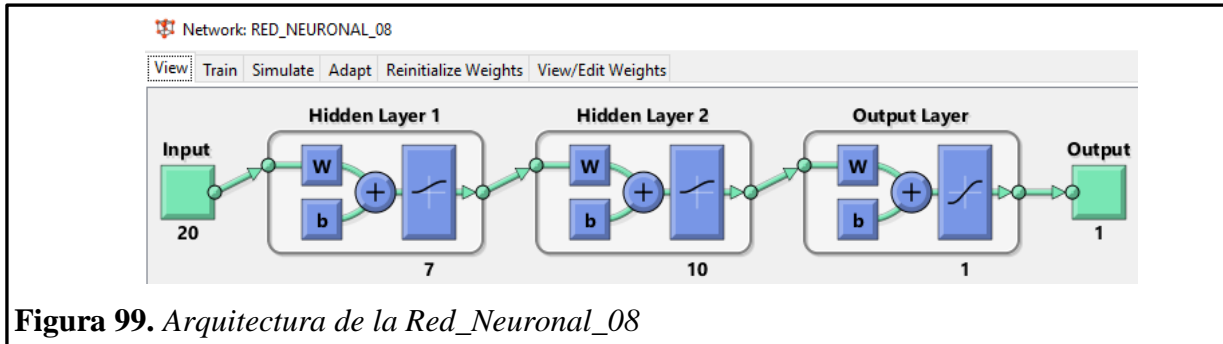


Figura 99. *Arquitectura de la Red_Neuronal_08*

Numero de neuronas por capa:

Capa de entrada: 20 neuronas

Capa oculta 1: 7 neuronas

Capa oculta 2: 10 neuronas

Capa de salida: 1 neurona

Función de activación:

Capa oculta 1: función Logarítmica Sigmoidal (LOGSIG)

Capa oculta 2: función Logarítmica Sigmoidal (LOGSIG)

Capa de salida: función Tangente Sigmoidal (TANSIG)

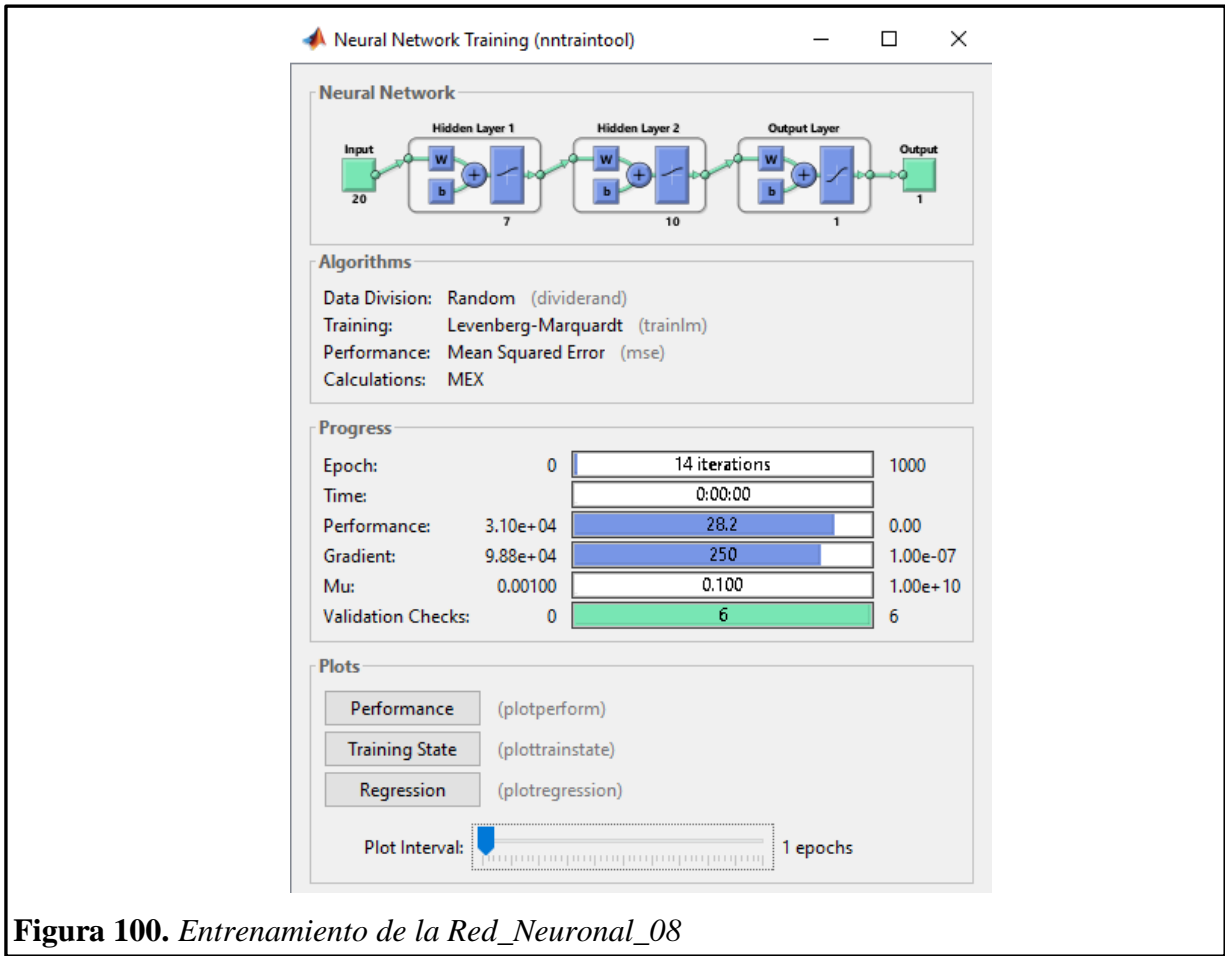


Figura 100. Entrenamiento de la Red_Neuronal_08

La figura 101 nos presenta el comportamiento del error medio cuadrático con respecto a las iteraciones, y se observa que tanto el conjunto de entrenamiento, validación y test disminuyen hasta la iteración 8. El proceso de entrenamiento termina en la iteración N° 14.

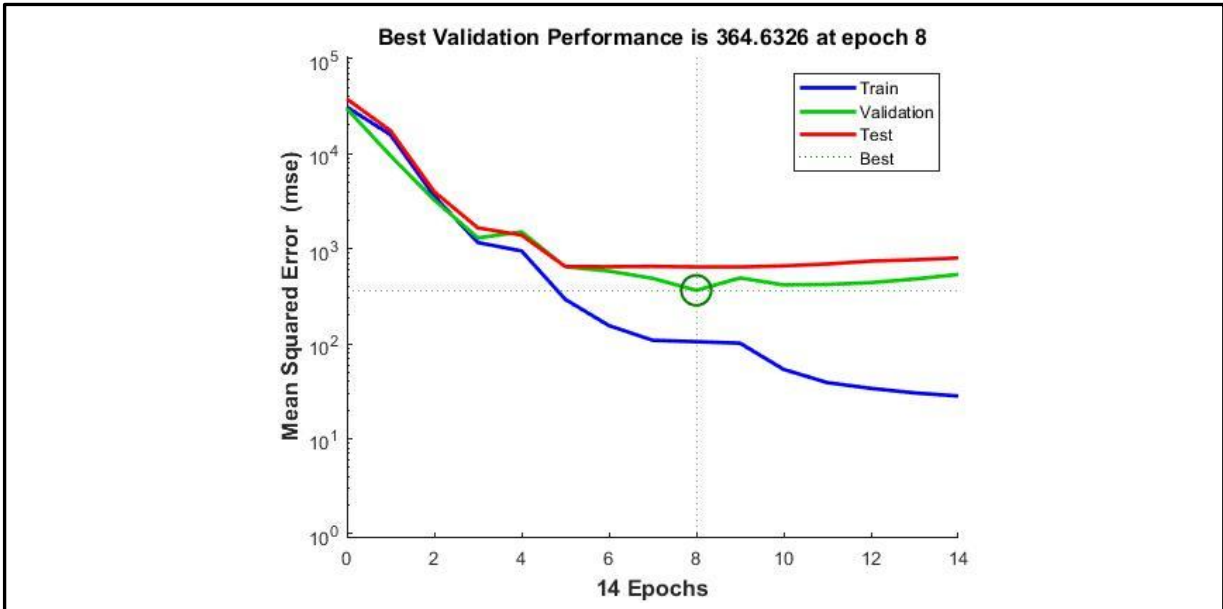


Figura 101. Evolución del error en función del número de iteraciones de la Red_Neuronal_08

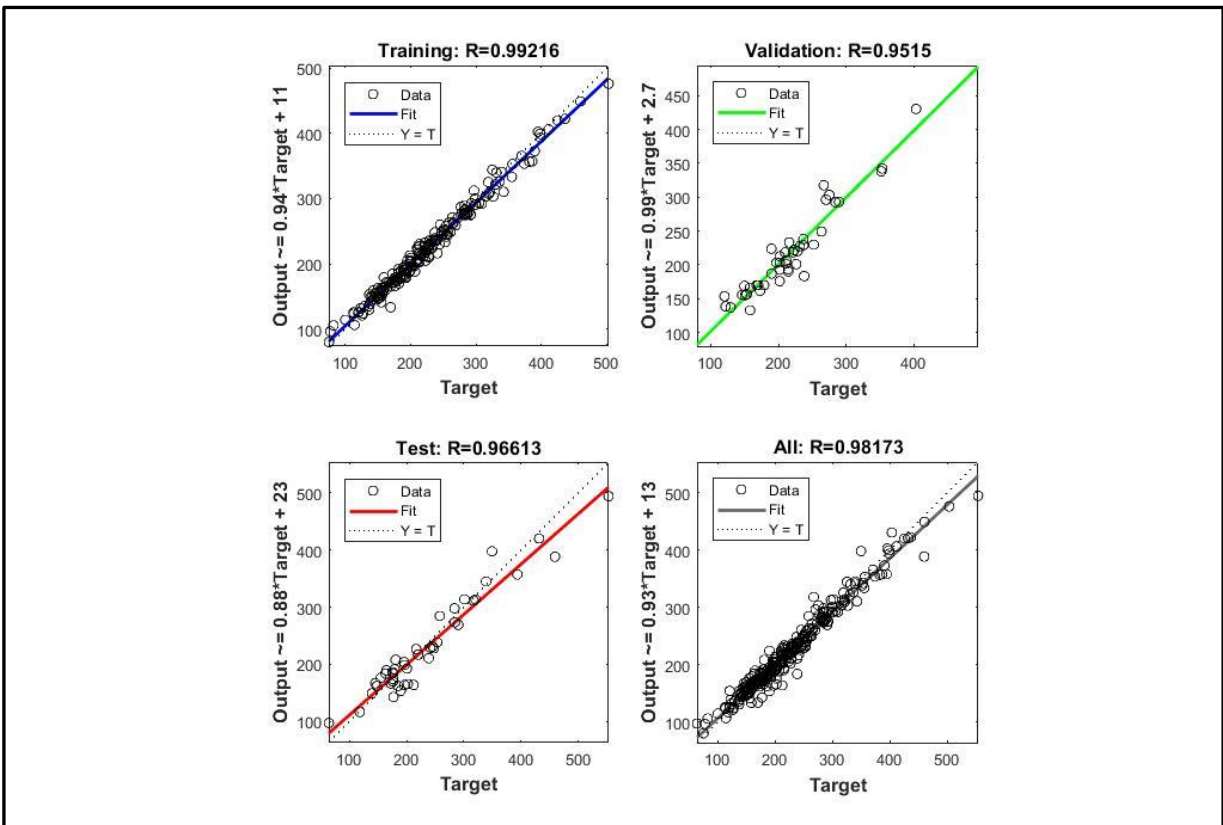


Figura 102. Regresión para los datos de entrenamiento, validación, test y total de datos con la Red_Neuronal_08

Los pesos que salen desde la capa de entrada, y se dirigen hacia la capa oculta 1 son en total 140 conexiones, que se representan de forma numérica como se muestra en la figura 103.

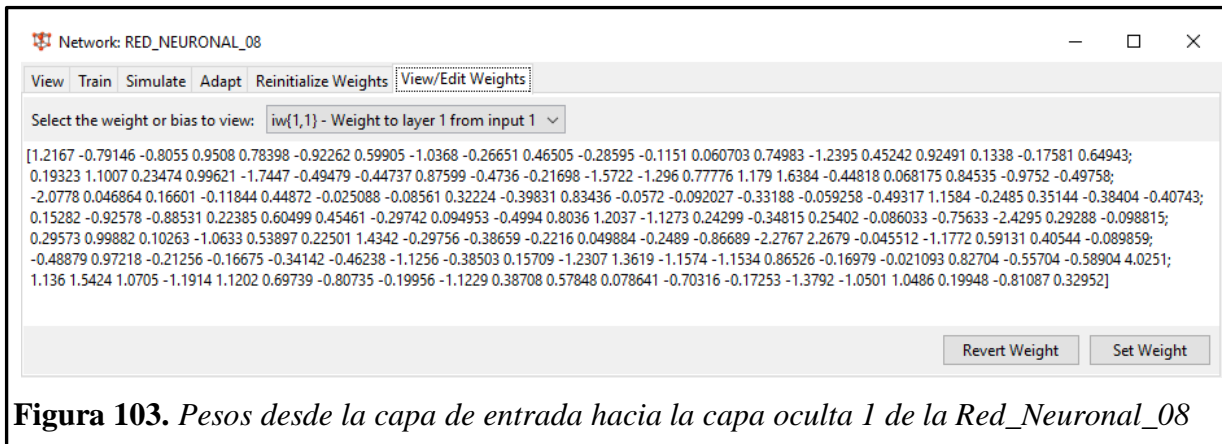


Figura 103. Pesos desde la capa de entrada hacia la capa oculta 1 de la Red_Neuronal_08

Los pesos que salen desde la capa oculta 1, y se dirigen hacia la capa oculta 2 son en total 70 conexiones, que se representan de forma numérica como se muestra en la figura 104.

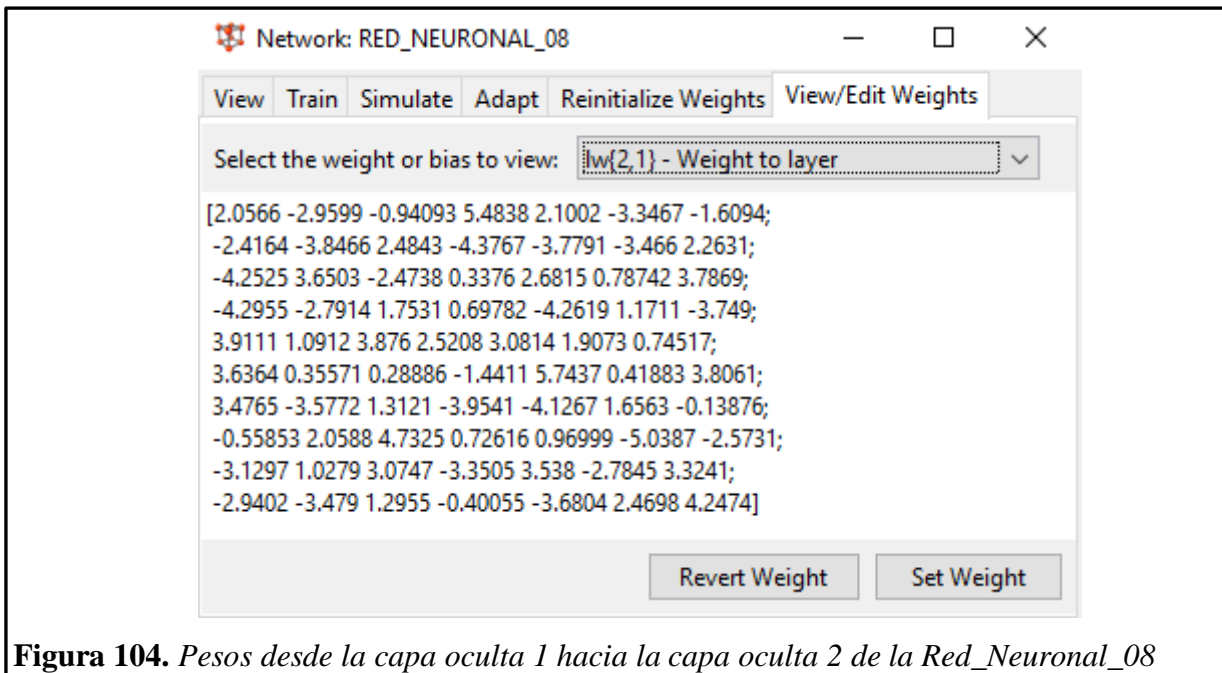


Figura 104. Pesos desde la capa oculta 1 hacia la capa oculta 2 de la Red_Neuronal_08

Los pesos que salen desde la capa oculta 2 hacia la capa de salida son en total 10 conexiones, que se representan de forma numérica como se puede observar en la figura 105.

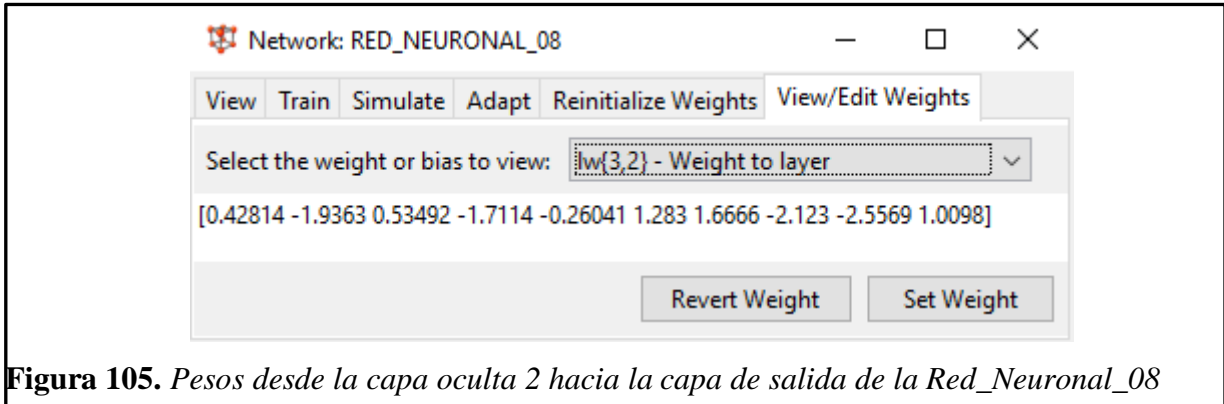


Figura 105. Pesos desde la capa oculta 2 hacia la capa de salida de la Red_Neuronal_08

Los sesgos o bias que le corresponden a cada neurona de la capa oculta 1 son 7, y se presentan en la figura 106.

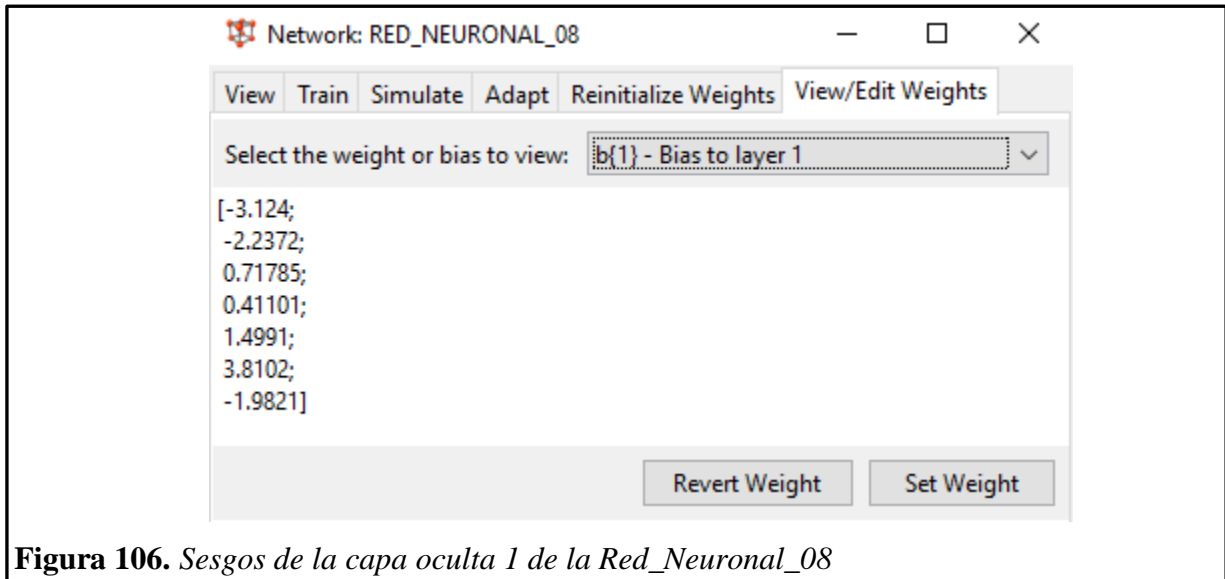


Figura 106. Sesgos de la capa oculta 1 de la Red_Neuronal_08

Los sesgos o bias que le corresponden a cada neurona de la capa oculta 2 son 10, y se presentan en la figura 107.

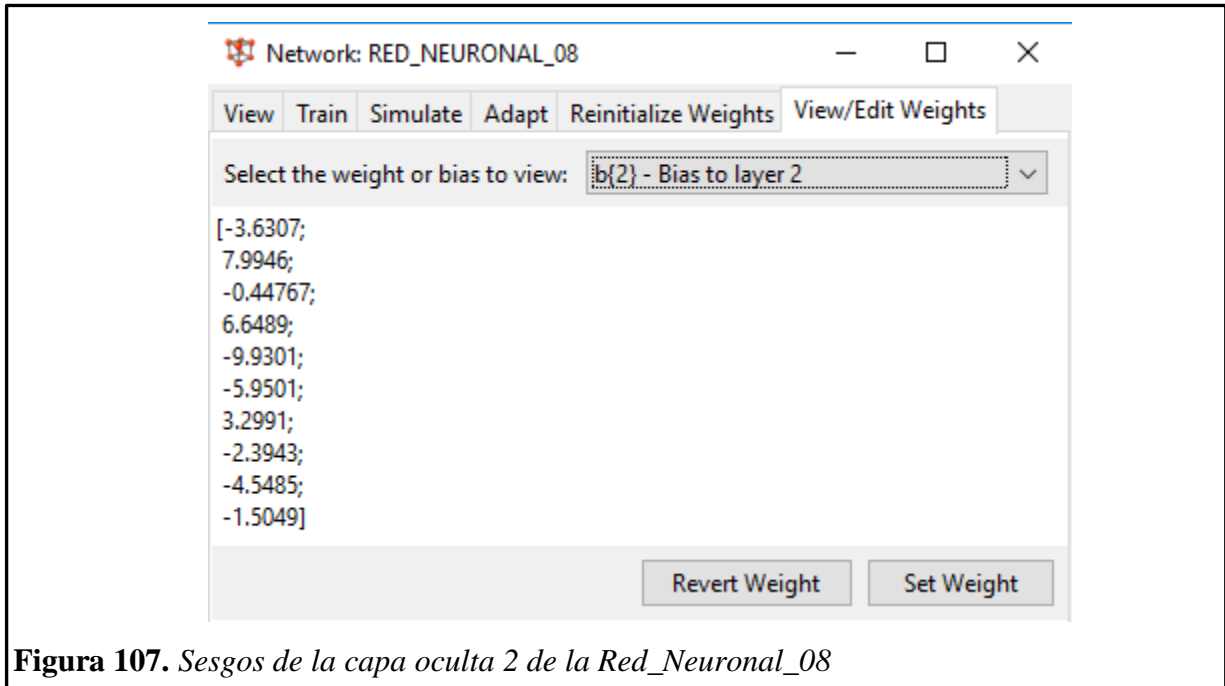


Figura 107. Sesgos de la capa oculta 2 de la Red_Neuronal_08

En la capa de salida solo hay un sesgo o bias debido a que también hay una sola salida. El valor numérico del sesgo se presenta en la figura 108.

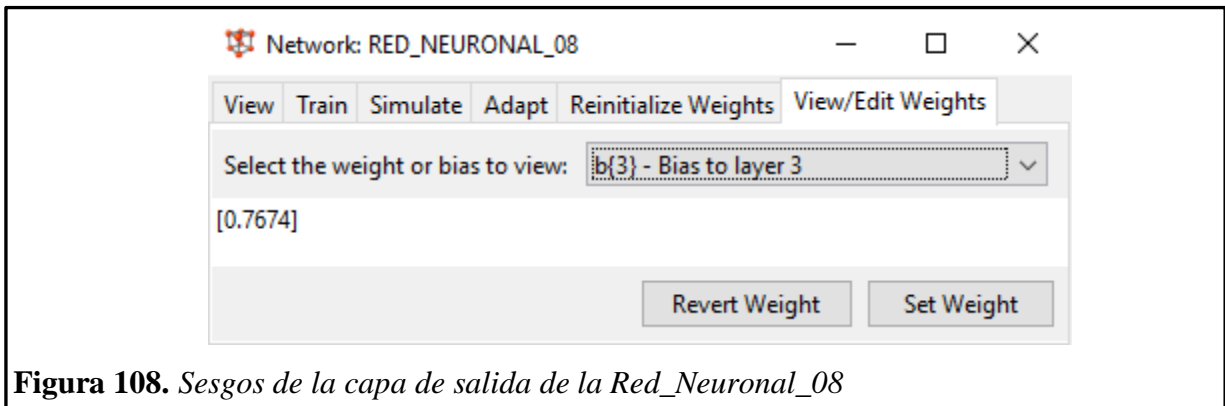


Figura 108. Sesgos de la capa de salida de la Red_Neuronal_08

La figura 109 nos presenta los valores de las resistencias a la compresión del concreto pronosticadas mediante la Red Neuronal_08 vs las resistencias a la compresión reales del conjunto TARGET. El R^2 obtenido es 0.9638.

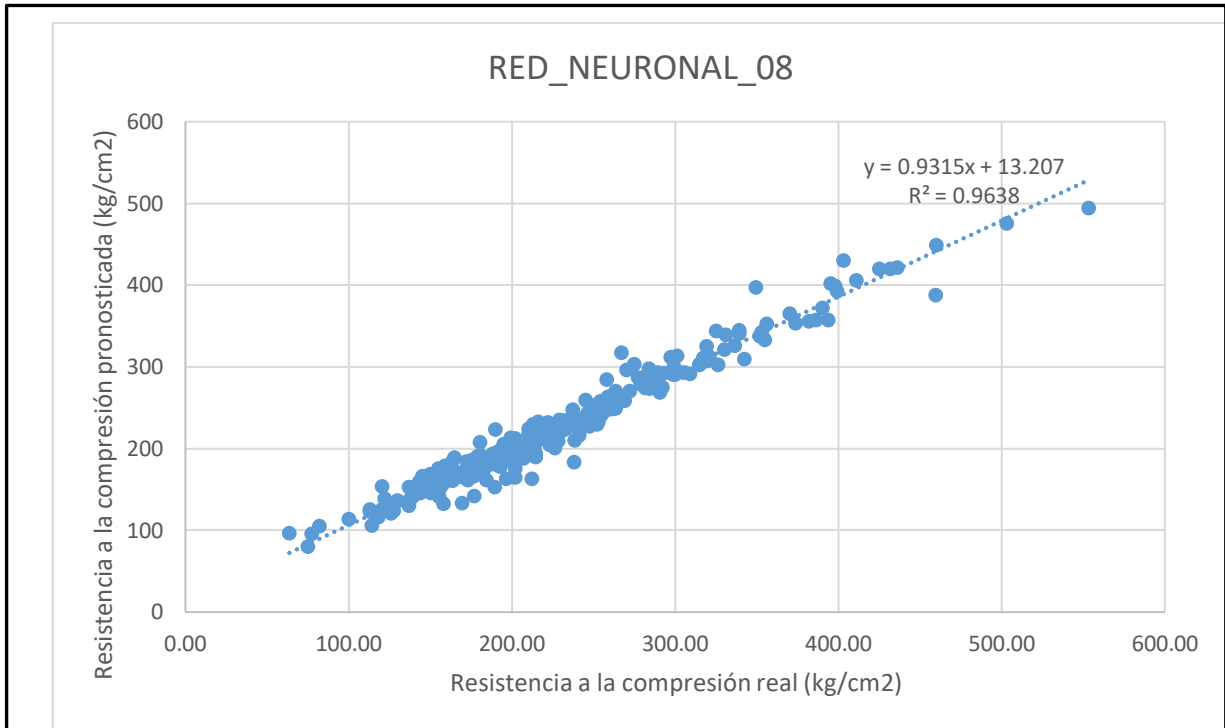


Figura 109. Comparación de las resistencias a la compresión del concreto reales con las pronosticadas mediante la Red_Neuronal_08

RED NEURONAL ARTIFICIAL 10

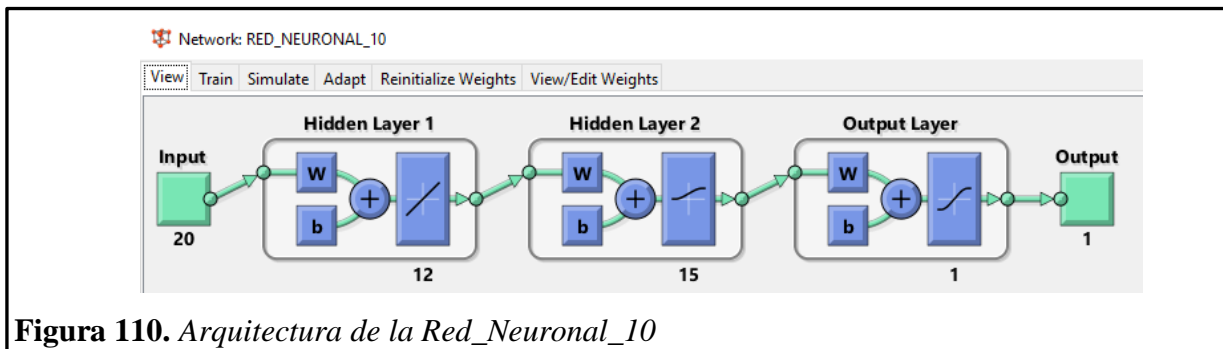


Figura 110. Arquitectura de la Red_Neuronal_10

Numero de neuronas por capa:

Capa de entrada: 20 neuronas

Capa oculta 1: 12 neuronas

Capa oculta 2: 15 neuronas

Capa de salida: 1 neurona

Función de activación:

Capa oculta 1: función Lineal (PURELIN)

Capa oculta 2: función Logaritmo Sigmoidal (LOGSIG)

Capa de salida: función Tangente Sigmoidal (TANSIG)

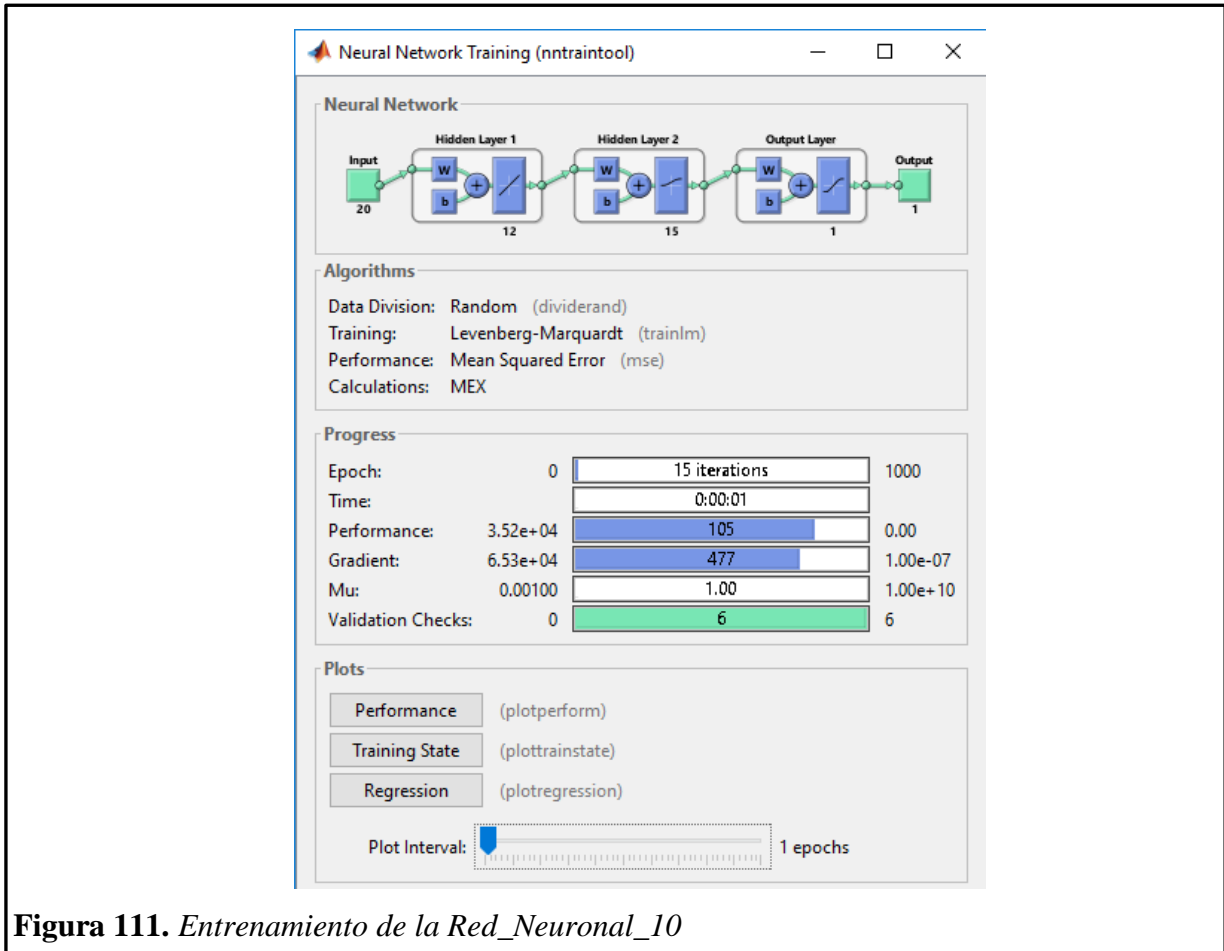


Figura 111. Entrenamiento de la Red Neuronal_10

La figura 112 nos presenta el comportamiento del error medio cuadrático con respecto a las iteraciones, y se observa que tanto el conjunto de entrenamiento, validación y test disminuyen hasta la iteración 9. El proceso de entrenamiento termina en la iteración N° 15.

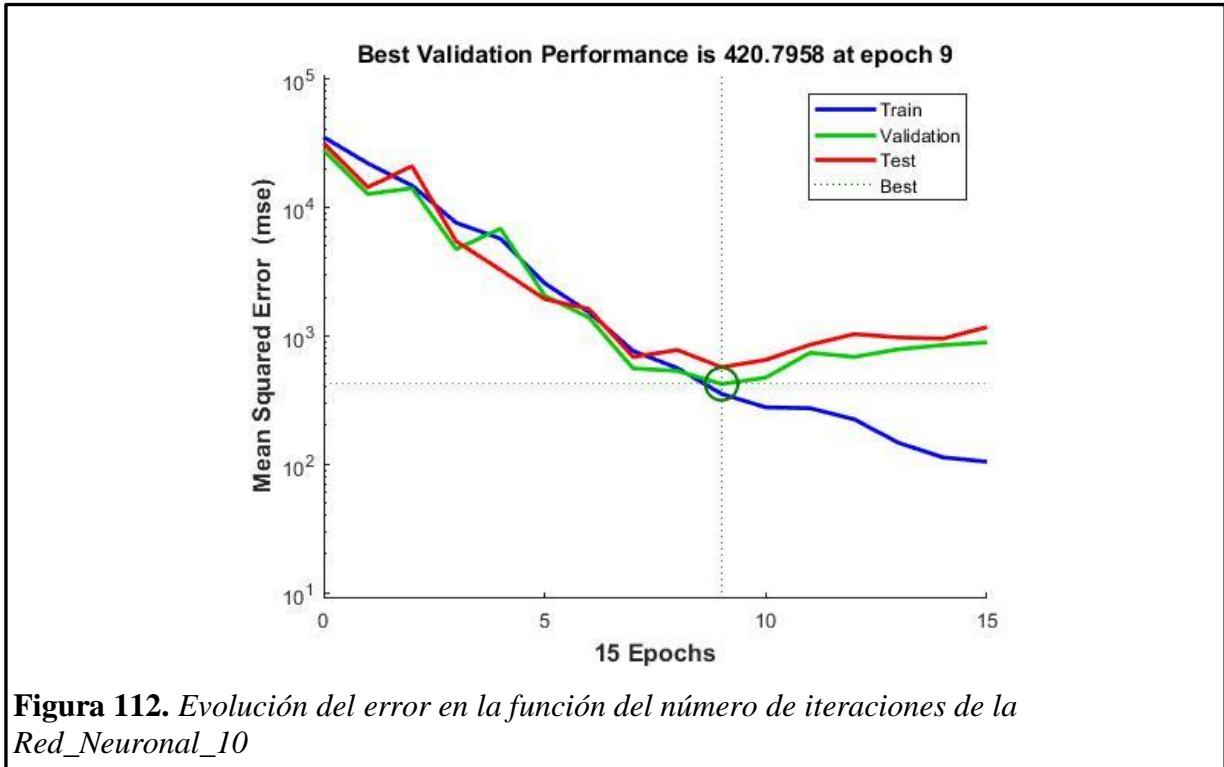


Figura 112. Evolución del error en la función del número de iteraciones de la Red_Neural_10

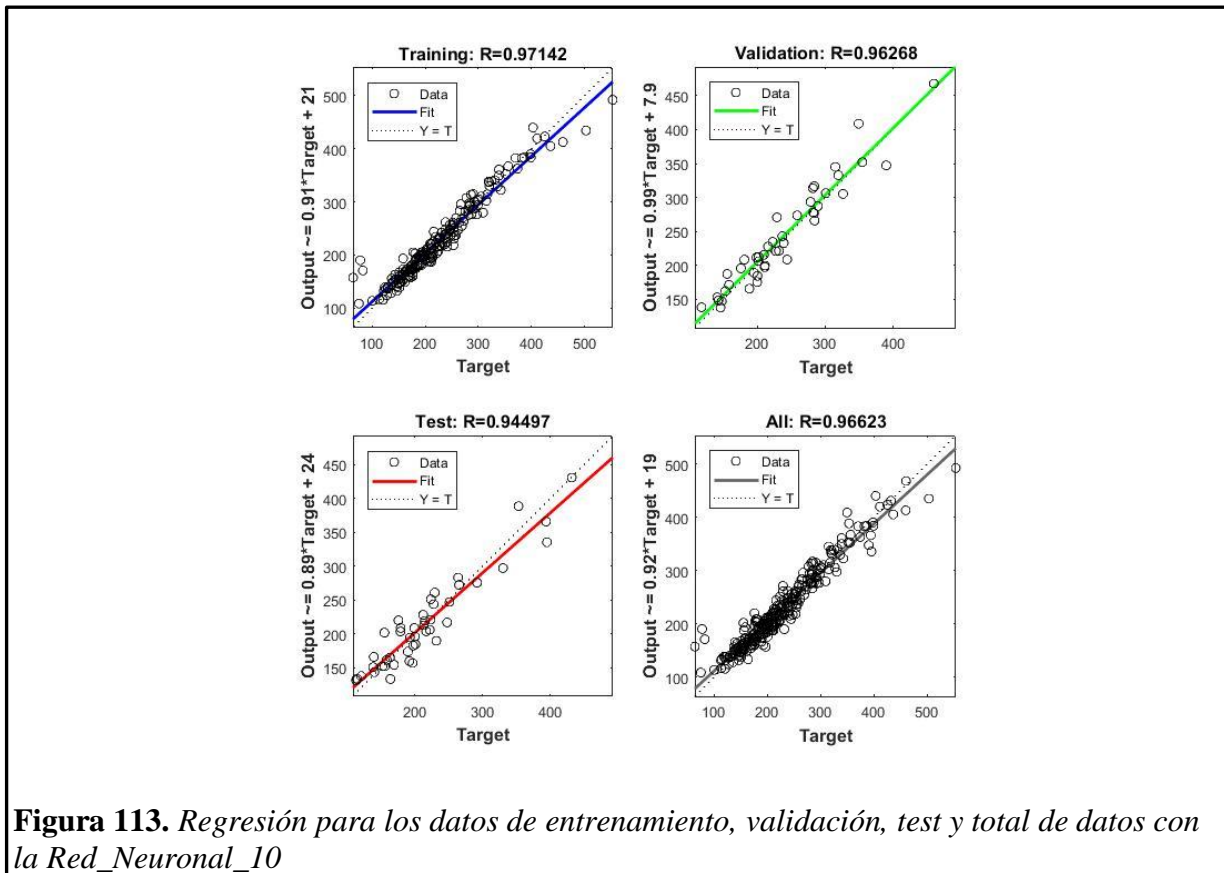


Figura 113. Regresión para los datos de entrenamiento, validación, test y total de datos con la Red_Neural_10

Los pesos que salen desde la capa de entrada, y se dirigen hacia la capa oculta 1 son en total 240 conexiones, que se representan de forma numérica como se muestra en la figura 114.

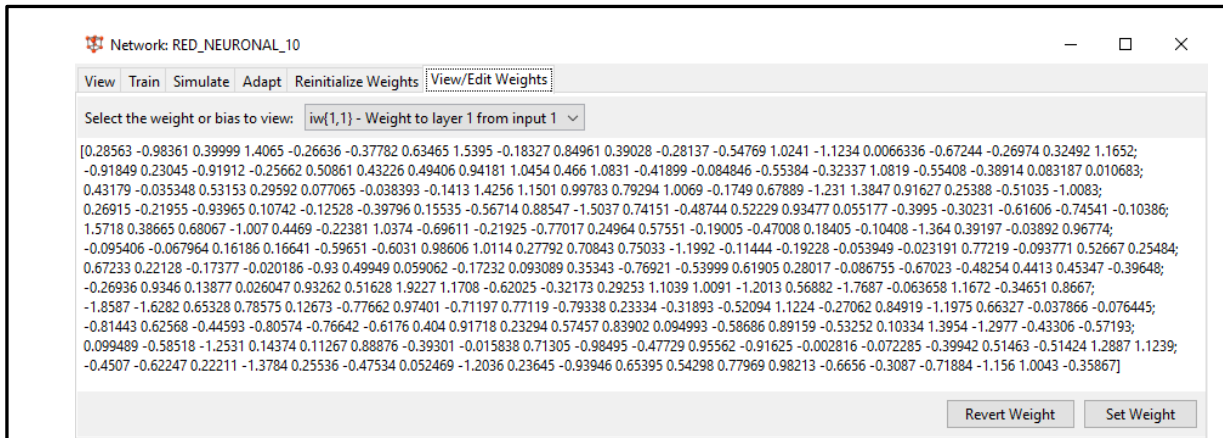


Figura 114. Pesos desde la capa de entrada hacia la capa oculta 1 de la Red Neuronal_10

Los pesos que salen desde la capa oculta 1, y se dirigen hacia la capa oculta 2 son en total 180 conexiones, que se representan de forma numérica como se muestra en la figura 115.

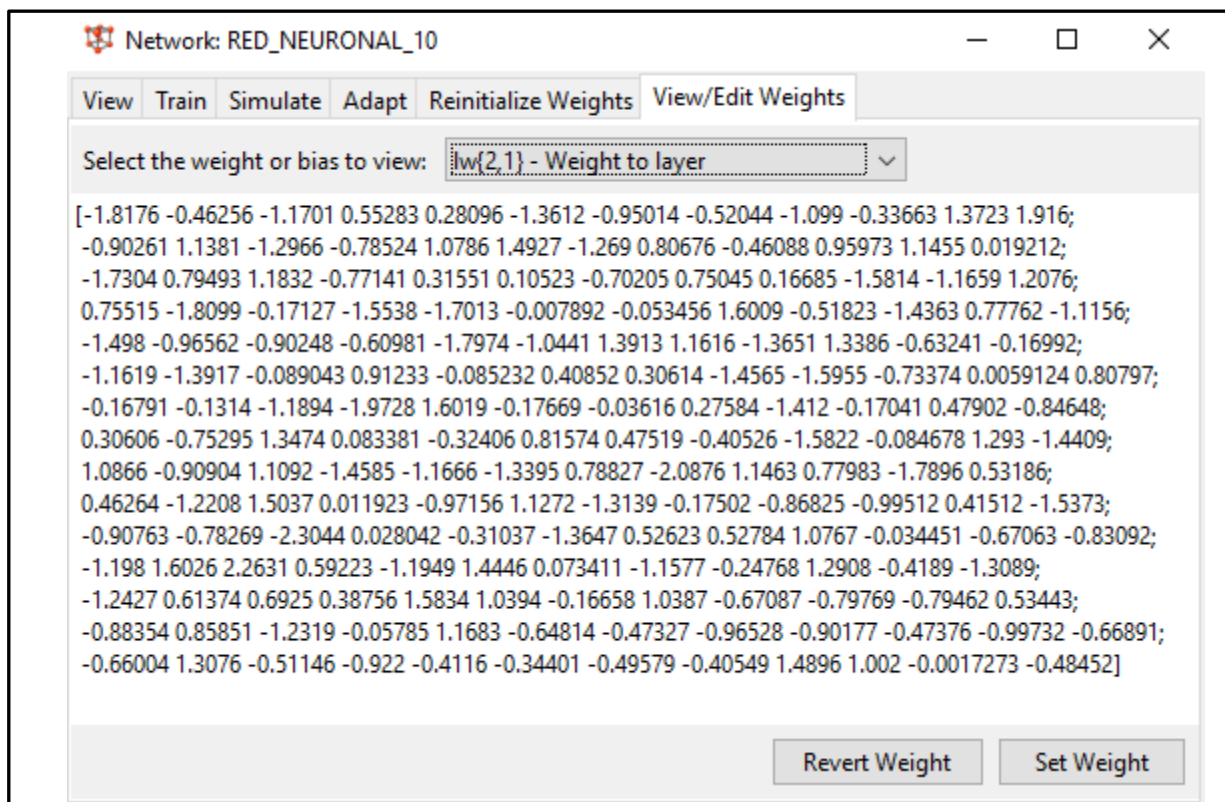


Figura 115. Pesos desde la capa oculta 1 hacia la capa oculta 2 de la Red Neuronal_10

Los pesos que salen desde la capa oculta 2 hacia la capa de salida son en total 15 conexiones, que se representan de forma numérica como se puede observar en la figura 116.

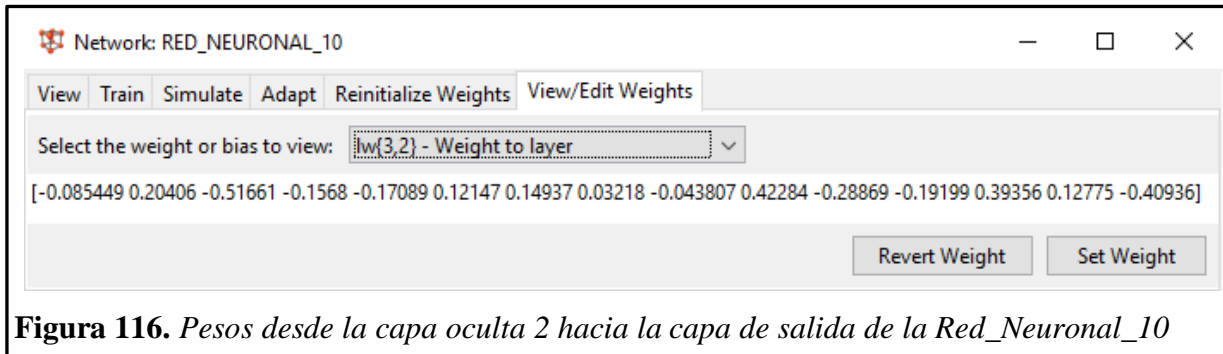


Figura 116. Pesos desde la capa oculta 2 hacia la capa de salida de la Red_Neuronal_10

Los sesgos o bias que le corresponden a cada neurona de la capa oculta 1 son 12, y se presentan en la figura 117.

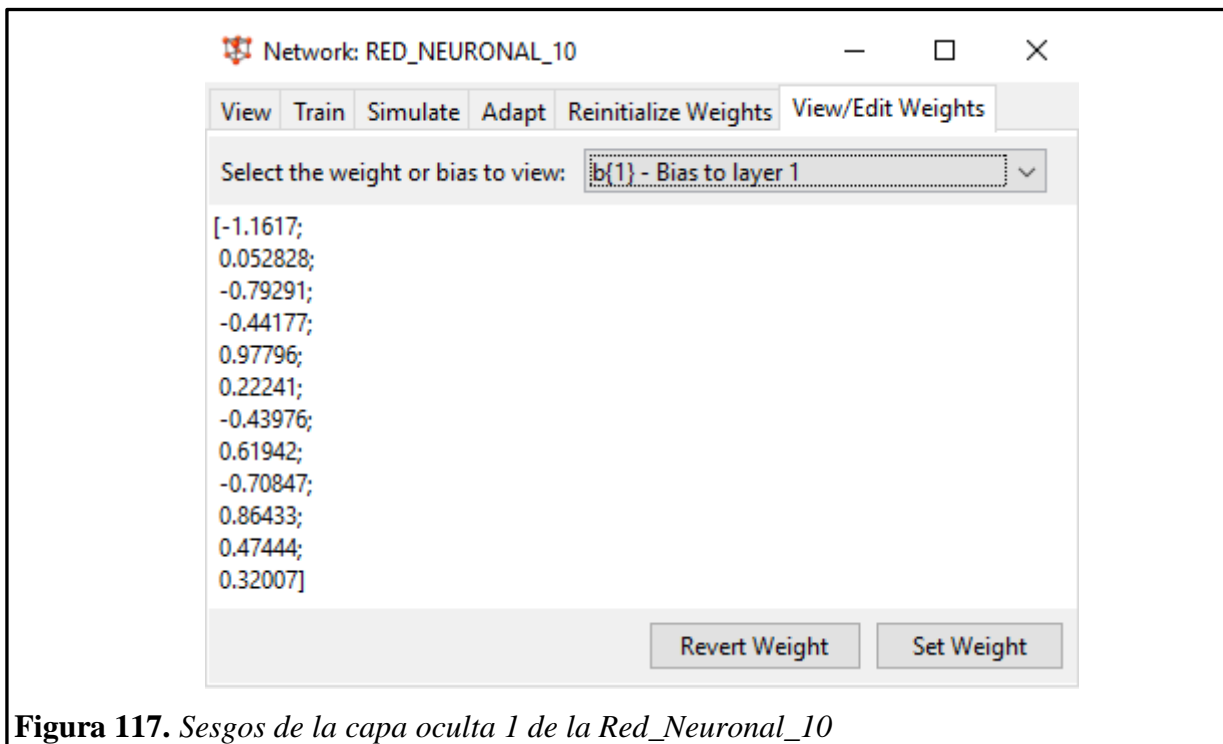


Figura 117. Sesgos de la capa oculta 1 de la Red_Neuronal_10

Los sesgos o bias que le corresponden a cada neurona de la capa oculta 2 son 15, y se presentan en la figura 118.

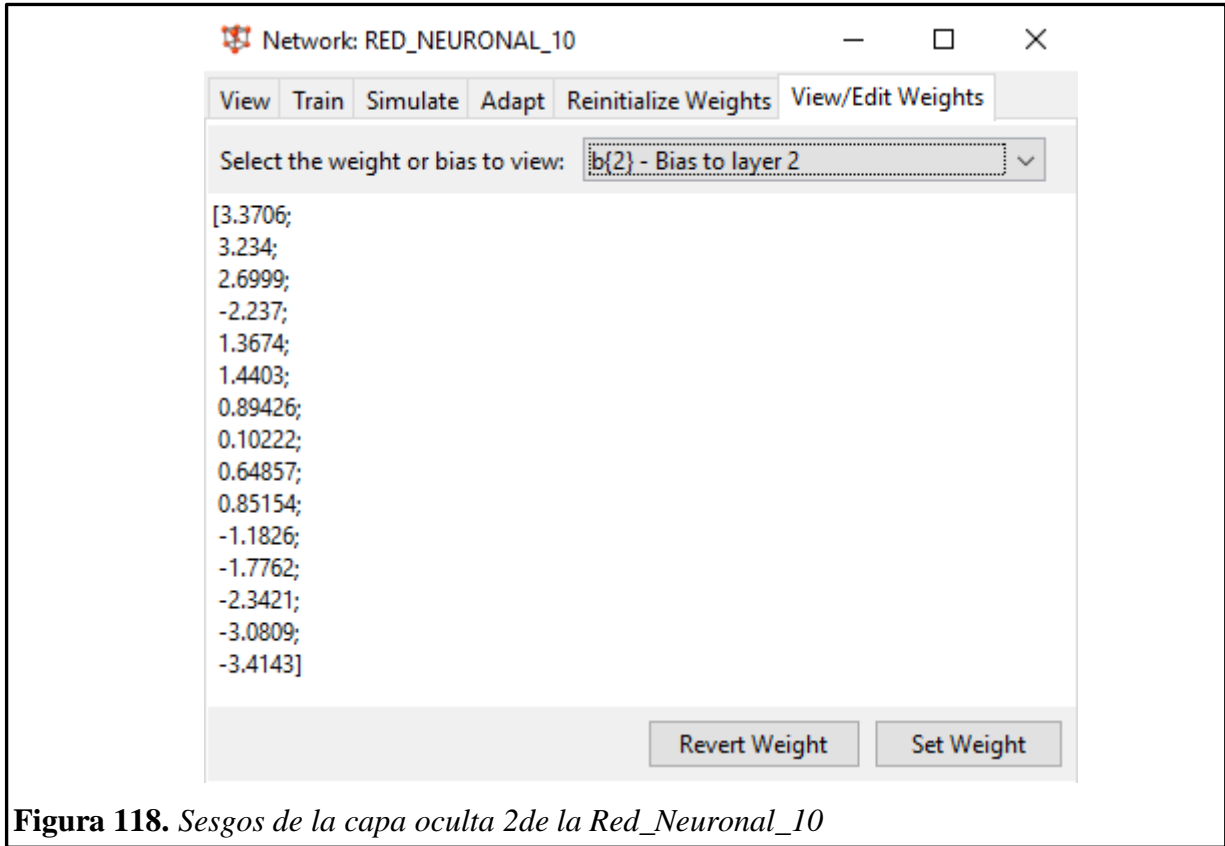


Figura 118. *Sesgos de la capa oculta 2 de la Red_Neuronal_10*

En la capa de salida solo hay un sesgo o bias debido a que también hay una sola salida. El valor numérico del sesgo se presenta en la figura 119.

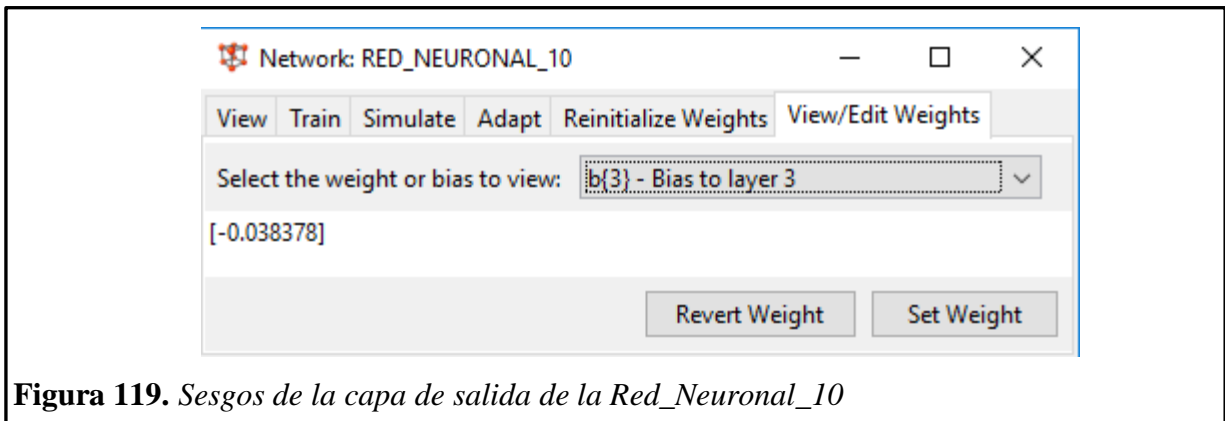


Figura 119. *Sesgos de la capa de salida de la Red_Neuronal_10*

La figura 120 nos presenta los valores de las resistencias a la compresión del concreto pronosticadas mediante la Red Neuronal_10 vs las resistencias a la compresión reales del conjunto TARGET. El R^2 obtenido es 0.9336.

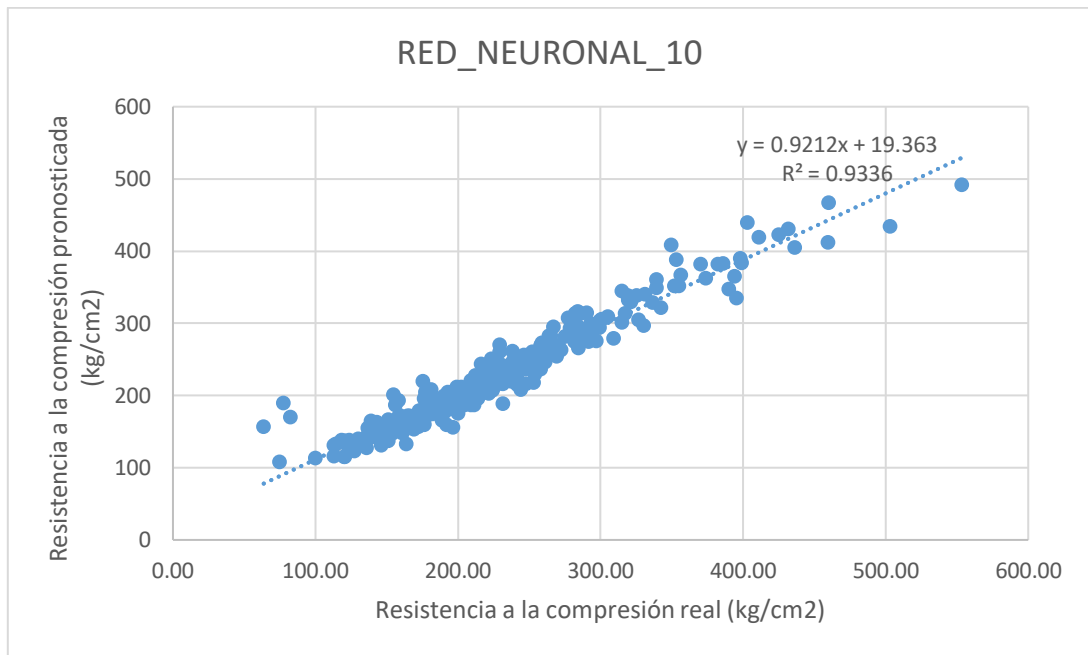


Figura 120. Comparación de las resistencias a la compresión del concreto reales con las pronosticadas mediante la Red_Neuronal_10

ANEXO 3. ENSAYO DE LOS AGREGADOS

3.1. Análisis granulométrico del agregado fino



FACULTAD DE INGENIERIA, ARQUITECTURA Y URBANISMO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

TESIS:

DISEÑO DE UN MODELO DINÁMICO CON REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA PREDECIR LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO

TESISTA:

Chingay Gonzales Gary

UBICACIÓN:

Pimentel, Chiclayo, Lambayeque

Ensayo : Análisis granulométrico por tamizado del agregado fino

Referencia : Norma ASTM C-136 ó N.T.P. 400.012

Peso inicial: 960.0 gr

Muestra: La Victoria - Patapo

Malla		Peso retenido	% Retenido	% Acumulado Retenido	% Acumulado que pasa
Pulg.	(mm.)				
1/2"	12.700	0.0	0.000	0.000	100.000
3/8"	9.520	0.00	0.000	0.000	100.000
N° 004	4.750	50.00	5.208	5.208	94.792
N° 008	2.360	110.00	11.458	16.667	83.333
N° 016	1.180	160.00	16.667	33.333	66.667
N° 030	0.600	210.00	21.875	55.208	44.792
N° 050	0.300	250.00	26.042	81.250	18.750
N° 100	0.150	100.00	10.417	91.667	8.333
FONDO		80.00	8.333	100.000	0.000

Módulo de fineza = **2.833**

Aberura de malla de referencia = **9.520**

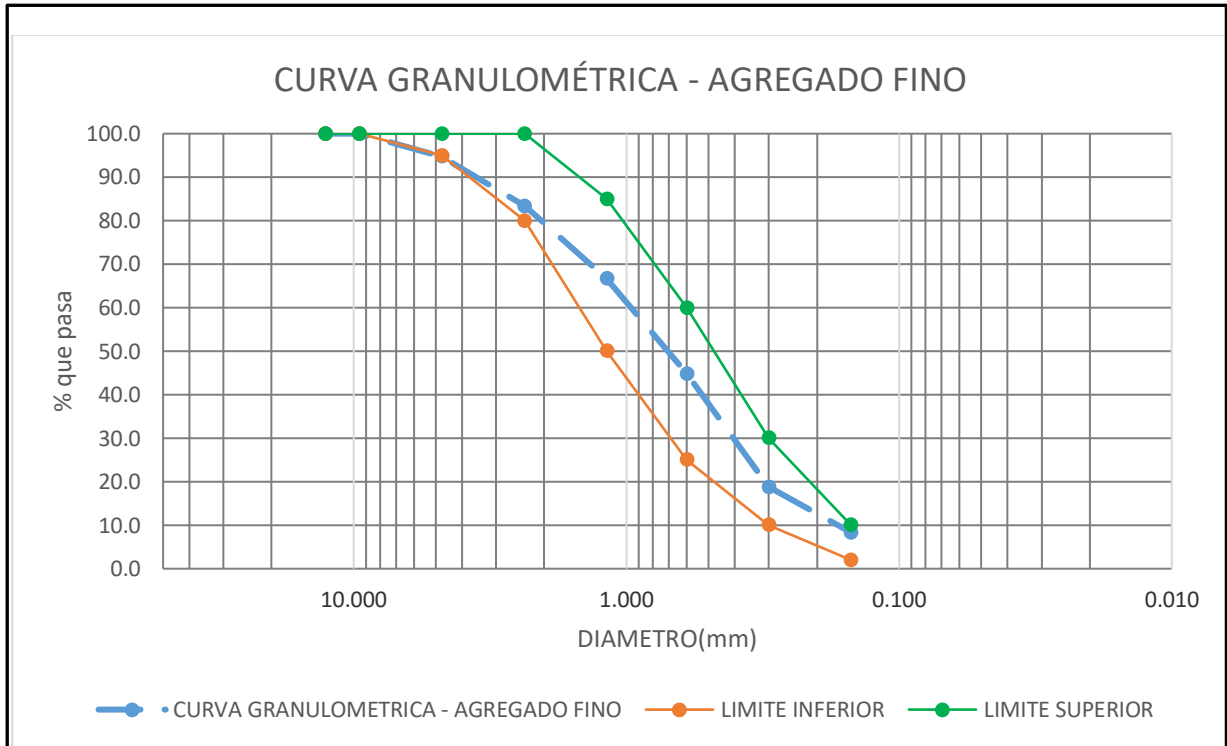


Figura 121. *Curva Granulométrica del agregado fino*

Fuente: Elaboración propia

3.2. Análisis granulométrico del agregado grueso



FACULTAD DE INGENIERIA, ARQUITECTURA Y URBANISMO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

TESIS:

**DISEÑO DE UN MODELO DINÁMICO CON REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA
PREDECIR LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO**

TESISTA:

Chingay Gonzales Gary

UBICACIÓN:

Pimentel, Chiclayo, Lambayeque

Ensayo : Análisis granulométrico por tamizado del agregado grueso

Referencia : Norma ASTM C-136 ó N.T.P. 400.012

Peso inicial: 4500.0 gr

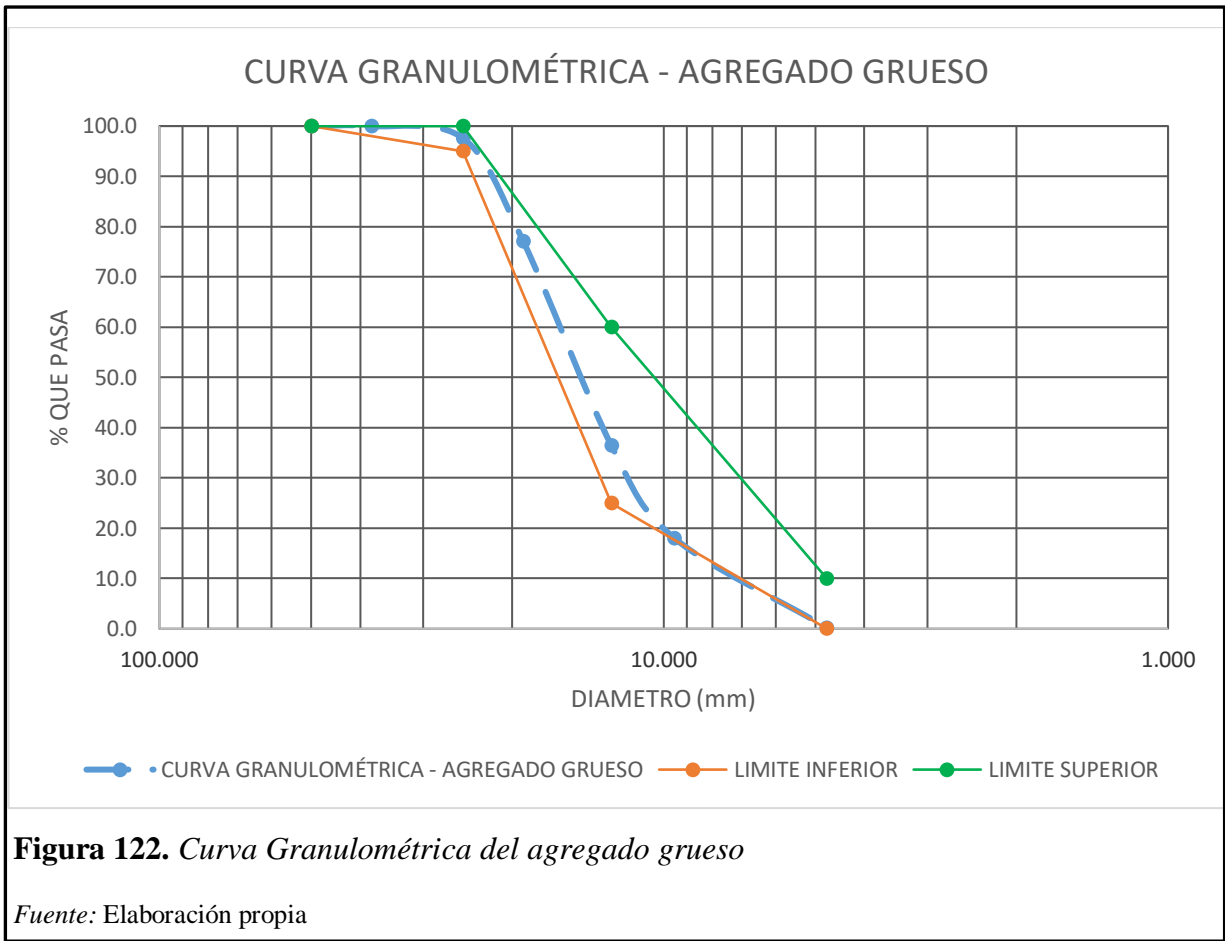
Muestra: La Victoria - Patapo

Malla		Peso Retenido	% Retenido	% Acumulado Retenido	% Acumulado que pasa
Pulg.	(mm.)				
2"	50.000	0.0	0.000	0.000	100.000
1 1/2"	38.000	0.0	0.000	0.000	100.000
1"	25.000	110.0	2.444	2.444	97.556
3/4"	19.000	920.0	20.444	22.889	77.111
1/2"	12.700	1830.0	40.667	63.556	36.444
3/8"	9.520	830.0	18.444	82.000	18.000
N° 4	4.750	800.0	17.778	99.778	0.222
FONDO		10.0	0.222	100.000	0.000

Tamaño Máximo = **1 1/2"**

Tamaño Máximo Nominal = **1"**

MF = **7.047**



3.3. Peso unitario y Contenido de humedad del agregado fino



UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN
FACULTAD DE INGENIERIA, ARQUITECTURA Y URBANISMO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

TESIS: **DISEÑO DE UN MODELO DINÁMICO CON REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA PREDECIR LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO**

TESISTA:

Chingay Gonzales Gary

Ensayo : Peso unitario del agregado fino

Referencia : Norma ASTM C-29 ó N.T.P. 400.017

Muestra **La Victoria - Patapo**

1.- PESO UNITARIO SUELTO

		A	B
- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	9650	9660
- Peso del recipiente	(gr.)	5249	5249
- Peso de muestra	(gr.)	4401	4411
- Constante ó Volumen	(m ³)	0.0028	0.0028
- Peso unitario suelto húmedo	(kg/m ³)	1596	1599
- Peso unitario suelto húmedo (Promedio)	(kg/m ³)	1598	
- Peso unitario suelto seco (Promedio)	(kg/m ³)	1586	

2.- PESO UNITARIO COMPACTADO

		A	B
- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	9970	9975
- Peso del recipiente	(gr.)	5249	5249
- Peso de muestra	(gr.)	4721	4726
- Constante ó Volumen	(m ³)	0.0028	0.0028
- Peso unitario suelto húmedo	(kg/m ³)	1712	1714
- Peso unitario compactado húmedo (Promedio)	(kg/m ³)	1713	
- Peso unitario seco compactado (Promedio)	(kg/m ³)	1700	

Contenido de Humedad del agregado fino

Ensayo : Contenido de humedad del agregado fino

Referencia : Norma ASTM C-535 ó N.T.P. 339.185

		A	B
- Peso de muestra húmeda	(gr.)	745	745
- Peso de muestra seca	(gr.)	740	740
- Peso de recipiente	(gr.)	68.0	68.0
- Contenido de humedad	(%)	0.74	0.74
- Contenido de humedad (promedio)	(%)	0.74	

3.4. Peso unitario y Contenido de humedad del agregado grueso



UNIVERSIDAD
SEÑOR DE SIPÁN

FACULTAD DE INGENIERIA, ARQUITECTURA Y URBANISMO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

TESIS: **DISEÑO DE UN MODELO DINÁMICO CON REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA PREDECIR LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO**

TESISTA: **Chingay Gonzales Gary**

Ensayo : Peso unitario del agregado grueso
Referencia : Norma ASTM C-29 ó N.T.P. 400.017

Muestra **La Victoria - Patapo**

1.- PESO UNITARIO SUELTO

		A	B
- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	19525	19575
- Peso del recipiente	(gr.)	6759	6759
- Peso de muestra	(gr.)	12766	12816
- Constante ó Volumen	(m ³)	0.0094	0.0094
- Peso unitario suelto húmedo	(kg/m ³)	1359	1365
- Peso unitario suelto humedo (Promedio)	(kg/m ³)		1362
- Peso unitario suelto seco (Promedio)	(kg/m ³)		1355

2.- PESO UNITARIO COMPACTADO

		A	B
- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	20570	20895
- Peso del recipiente	(gr.)	6759	6759
- Peso de muestra	(gr.)	13811	14136
- Constante ó Volumen	(m ³)	0.0094	0.0094
- Peso unitario suelto húmedo	(kg/m ³)	1471	1505
- Peso unitario compactado humedo (Promedio)	(kg/m ³)		1488
- Peso unitario compactado seco (Promedio)	(kg/m ³)		1480

Contenido de Humedad del agregado grueso

Ensayo : Contenido de humedad del agregado grueso
Referencia : Norma ASTM C-535 ó N.T.P. 339.185

		A	B
- Peso de muestra húmeda	(gr.)	1840.0	1840.0
- Peso de muestra seca	(gr.)	1831.0	1831.0
- Peso de recipiente	(gr.)	97.2	97.2
- Contenido de humedad	(%)	0.52	0.52
- Contenido de humedad (promedio)	(%)		0.52

3.5. Peso específico y Absorción del agregado fino



FACULTAD DE INGENIERIA, ARQUITECTURA Y URBANISMO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

TESIS: **DISEÑO DE UN MODELO DINÁMICO CON REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA PREDECIR LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO**

TESISTA:
Chingay Gonzales Gary

Ensayo : Peso específico y Absorción del agregado fino
Referencia : Norma ASTM C-128 ó N.T.P. 400.022

Muestra **La Victoria - Patapo**

I. DATOS

1.- Peso de la arena superficialmente seca	(gr)	500	500
1.- Peso de la arena superficialmente seca + peso del frasco + peso del agua	(gr)	980.0	980.0
2.- Peso de la arena superficialmente seca + peso del frasco	(gr)	680.0	680.0
3.- Peso del agua	(gr)	300.0	300.0
4.- Peso de la arena secada al horno + peso del frasco	(gr)	675.0	680.0
5.- Peso del frasco	(gr)	180.0	180.0
6.- Peso de la arena secada al horno	(gr)	495.0	495.0
7.- Volumen del frasco	(cm ³)	500.0	500.0

II .- RESULTADOS

				PROMEDIO
1.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(gr/cm ³)	2.475	2.475	2.475
2.- PESO ESPECIFICO DE MASA SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO	(gr/cm ³)	2.500	2.500	2.500
3.- PESO ESPECIFICO APARENTE	(gr/cm ³)	1.112	1.112	1.112
4.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	%	1.010	1.010	1.010

3.6. Peso específico y Absorción del agregado grueso



**UNIVERSIDAD
SEÑOR DE SIPÁN**
FACULTAD DE INGENIERIA, ARQUITECTURA Y URBANISMO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

TESIS: **DISEÑO DE UN MODELO DINÁMICO CON REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA PREDECIR LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO**

TESISTA: **Chingay Gonzales Gary**

Ensayo : Peso específico y Absorción del agregado grueso
Referencia : Norma ASTM C-127 ó N.T.P. 400.021

Muestra: **La Victoria - Patapo**

I. DATOS

1.- Peso de la muestra secada al horno	(gr)	1230.0	1230.0
2.- Peso de la muestra saturada superficialmente seca	(gr)	1238.0	1238.0
3.- Peso de la muestra saturada dentro del agua + peso de la canastilla	(gr)	1725.0	1725.0
4.- Peso de la canastilla	(gr)	945.0	945.0
5.- Peso de la muestra saturada dentro del agua	(gr)	780.0	780.0

II. - RESULTADOS

				PROMEDIO
1.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(gr/cm ³)	2.686	2.686	2.686
2.- PESO ESPECIFICO DE MASA SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO	(gr/cm ³)	2.703	2.703	2.703
3.- PESO ESPECIFICO APARENTE	(gr/cm ³)	2.733	2.733	2.733
4.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	%	0.65	0.65	0.65

RESUMEN DE ENSAYOS APLICADOS A LOS AGREGADOS NATURALES

1.- GRANULOMETRIA: N.T.P. 400.012

Muestra Agregado fino

Peso Hum. : 967.1429 Peso Seco : 960
Cont. Hum. : 0.74

Malla	Peso Retenido	% Retenido	% Ret. Acum.	% Que Pasa
3/8"	0	0	0	100
Nº4	50	5.2	5.2	94.8
Nº8	110	11.5	16.7	83.3
Nº16	160	16.7	33.3	66.7
Nº30	210	21.9	55.2	44.8
Nº50	250	26.0	81.3	18.8
Nº100	100	10.4	91.7	8.3
FONDO	80	8.3	100.0	0.0

Muestra Agregado grueso

Peso Hum. 4523.359 Peso Seco : 4500
Cont. Hum. 0.52

Malla	Peso Retenido	% Retenido	% Ret. Acum.	% Que Pasa
2"	0	0	0	100
1 1/2"	0	0	0	100
1"	110	2.44	2.44	97.56
3/4"	920	20.44	22.89	77.11
1/2"	1830	40.67	63.56	36.44
3/8"	830	18.44	82.00	18.00
Nº4	800	17.78	99.78	0.22
FONDO	10.0	0.2	100.0	0.0

2.- PESO UNITARIO : N.T.P. 400.017

SUELTO	A	B
- Peso de la muestra húmeda	9650	9660
- Volumen del molde		0.002758
- Peso unitario suelto húmedo		1598
- PESO UNIT. SUELTO SECO		1586

COMPACTADO	A	B
- Peso de la muestra húmeda	9970	9975
- Volumen del molde		0.00276
- Peso unitario suelto húmedo		1713
- PESO UNIT. COMPACTADO SECO		1700

SUELTO	A	B
- Peso de la muestra húmeda	19525	19575
- Volumen del molde		0.00939
- Peso unitario suelto húmedo		1362
- PESO UNIT. SUELTO SECO		1355

COMPACTADO	A	B
- Peso de la muestra húmeda	20570	20895
- Volumen del molde		0.00939
- Peso unitario suelto húmedo		1488
- PESO UNIT. COMPACTADO SECO		1480

3.- PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN : N.T.P. 400.021 Arena

A.- Datos de la arena

N.T.P. 400.022 Piedra

1.- Peso de la Muest. Sat. Sup. Seca.	g	500.0	500.0	
2.- Peso de la Muest. Sat. Sup. Seca + Peso frasco + Peso del agua.	g	980.0	980.0	
3.- Peso de la Muest. Sat. Sup. Seca + Peso del frasco.	(1+5)	g	680.0	680.0
4.- Peso del Agua.	(2-3)	g	300.0	300.0
5.- Peso del Frasco		g	675.0	680.0
6.- Peso de la muest. secada ahorno + Peso del frasco.	(5+7)	g	180.0	180.0
7.- Peso de la muest. seca en el horno.		g	495.0	495.0
8.- Volumen del frasco.	cm ³	500.0	500.0	500.0

B.- Resultados

Promedio

A.- PESO ESPECIFICO DE LA ARENA.	7/(8-4)	g/cm ³	2.475	2.475	2.475
B.- PESO ESPECIFICO DE LA MASA S.S.S.	7/(7-4)	g/cm ³	2.500	2.500	2.500
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	7/((8-4)-(8-7))	g/cm ³	1.112	1.112	1.112
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN.	((1-7)/7)*100	%	1.01	1.010	1.010

A.- Datos de la grava (N.T.P. 400.022 Piedra)

1.- Peso de la muestra seca al horno	g	1230	1230	
2.- Peso de la muestra saturada superficialmente seca	g	1238	1238	
3.- peso de la muestra saturada dentro del agua + peso de la canastilla	g	1725	1725	
4.- Peso de la canastilla	g	945	945	
5.- Peso de la muestra saturada dentro del agua	(3-4)	g	780	780

B.- Resultados

Promedio

A.- PESO ESPECIFICO DE LA GRAVA.	1/(2-5)	g/cm ³	2.686	2.686	2.686
B.- PESO ESPECIFICO DE LA MASA S.S.S.	2/(2-5)	g/cm ³	2.703	2.703	2.703
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	1/(1-5)	g/cm ³	2.733	2.733	2.733
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN.	((2-1)/1)*100	%	0.65	0.650	0.650

4.- CONTENIDO DE HUMEDAD : N.T.P. 339.185

Arena	((A+B)/2)/(1+(C.H./100)	A	B
1.- Peso de la muest. húmeda		745	745
2.- Peso de la muestra seca		740	740
3.- Cont. Humedad		0.74	0.74
4.- Promedio		0.74	

Grava	A	B
1.- Peso de la muest. húmeda	1840	1840
2.- Peso de la muestra seca	1831	1831
3.- Cont. Humedad	0.52	0.52
4.- Promedio	0.52	

ANEXO 4. DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO

4.1. Diseño de mezcla de concreto de $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$

UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN
FACULTAD DE INGENIERIA, ARQUITECTURA Y URBANISMO
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

TESIS: **DISEÑO DE UN MODELO DINÁMICO CON REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA PREDECIR LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO**

TESISTA:

Chingay Gonzales Gary

ENSAYO : DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO DISEÑO PATRÓN $f_c = 175 \text{ kg/cm}^2$

DISEÑO DE RESISTENCIA

$F'c = 175 \text{ Kg/cm}^2$

I.) Datos del agregado grueso La Victoria - Patapo

01.- Tamaño máximo nominal	1" pulg.
02.- Peso específico seco de masa	2686 Kg/m^3
03.- Peso Unitario compactado seco	1480 Kg/m^3
04.- Peso Unitario suelto seco	1355 Kg/m^3
05.- Contenido de humedad	0.52 %
06.- Contenido de absorción	0.65 %

II.) Datos del agregado fino La Victoria - Patapo

07.- Peso específico seco de masa	2475 Kg/m^3
08.- Peso unitario seco suelto	1586 Kg/m^3
09.- Contenido de humedad	205 100 0.74 %
10.- Contenido de absorción	20.5 10 1.01 %
11.- Módulo de fineza (adimensional)	2.833

III.) Datos de la mezcla y otros

12.- Resistencia especificada a los 28 días	F'_{cr}	245 Kg/cm^2
13.- Relación agua cemento	$R^{a/c}$	0.627
14.- Asentamiento		4 Pulg.
15.- Volumen unitario del agua : Potable de la zona.		193 L/m^3
16.- Contenido de aire atrapado		1.5 %
17.- Volumen del agregado grueso		0.667 m^3
18.- Peso específico del cemento Portland tipo I		3150 Kg/m^3
19.- Aditivo Sin Aditivo		0.000 %
20.- Densidad aparente del aditivo		0.00 g/cm^3

IV.) Calculo de volúmenes absolutos, corrección por humedad y aporte de agua

a.- Cemento	308	0.098			
b.- agua	193	0.193			
c.- Aire	1.5	0.015	Corrección por humedad		Agua Efectiva
d.- Arena	809	0.327	45	815	2.2
e.- Grava	987	0.367	55	992	1.3
	2298	1.000			3

V.) Resultado final de diseño (húmedo)

Cemento	308	Kg/m^3
Agua	196	L/m^3
Arena	815	Kg/m^3
Grava	992	Kg/m^3
Sin Aditivo	0.000	L/m^3
	2311	

VI.) Tanda de ensayo

	4.080	kg	0.013 m^3	
F/cemento (en bolsas)				7.2
$R^{a/c}$ de diseño				0.627
$R^{a/c}$ de obra				0.638
Aditivo en Kg/m^3				0.000
	30.631			

VII.) Dosificación en volumen (materiales con humedad natural)

En bolsa de 1 pie ³ P	1.0	2.65	3.22	27.1	Lts/pie ³
En bolsa de 1 pie ³ V	1.0	2.51	3.58	27.1	Lts/pie ³

Ajuste de agua de tanda

Cantidad de agua sobrante o incrementada

ml	Lt
200	0.200

Consistencia del concreto fresco (Slump)

Slump teorico del diseño
Slump obtenido en comprobación
Ajuste de cantidad de agua

	Pulg.	mm.
	4	101.6
	3 1/2	88.9
Litros	2.54	

Peso unitario del concreto fresco

Nº de prueba		Sin / Corr	Corregida
Nº de molde		2	02
Peso de la muestra + peso del molde	gr.	11785	11785
Peso del molde	gr.	5259	5259
Volumen ó Constante del molde	m ³	0.0028	0.0028
Peso unitario del concreto fresco sin aire incorporado	kg/m ³	2366	2366

VIII) AJUSTE DE LA MEZCLA DE PRUEBA :

peso de tanda de ensayo 30.631
Peso unitario de la mezcla teorica 2366
Rendimiento 0.0129

	254		
Ajuste de agua de mezclado	219	Ra/c final	0.627
Ajuste de cantidad de cemento	349	F. Cemento	8.2
Ajuste de grava (húmedo)	985	% de grava	55
Ajuste de arena (húmedo)	812	% de arena	45
Ajuste por slump	2.54		
Ajuste de % de Grava	-3		

Materiales	Tanda
	0.064
Cemento	22.234
Agua	13.941
Arena	51.687
Grava	62.680
Total	150.542

Dosificación		
Peso	Volumen	
1.00	1.00	Pie ³
26.6	26.6	Litros
2.32	2.21	Pie ³
2.82	<u>3.13</u>	Pie ³
	5.3	Pie ³

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

TESIS:

DISEÑO DE UN MODELO DINÁMICO CON REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA PREDECIR LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO

TESISTA:

Chingay Gonzales Gary

DISEÑO PATRON F'c = 175 kg/cm²

Resultados del diseño de mezcla :

Asentamiento obtenido	:	3 1/2 Pulgadas
Peso unitario del concreto fresco	:	2366 Kg/m ³
Factor cemento por M ³ de concreto	:	8.2 bolsas/m ³
Relación agua cemento de diseño	:	0.627

Cantidad de materiales por metro cúbico :			
Cemento	349	Kg/m ³	Portland tipo I
Agua	219	L	: Potable de la zona.
Agregado fino	812	Kg/m ³	La Victoria - Patapo
Agregado grueso	985	Kg/m ³	La Victoria - Patapo

Proporción en peso:

Cemento	Arena	Piedra	Agua
1.0	2.32	2.82	26.6

Proporción en volumen:

Cemento	Arena	Piedra	Agua
1.0	2.21	3.13	26.6

4.2. Diseño de mezcla de concreto de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN
FACULTAD DE INGENIERIA, ARQUITECTURA Y URBANISMO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

TESIS: **DISEÑO DE UN MODELO DINÁMICO CON REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA PREDECIR LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO**

TESISTA:

Chingay Gonzales Gary

ENSAYO : DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO DISEÑO PATRÓN $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$

DISEÑO DE RESISTENCIA

$F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$

I.) Datos del agregado grueso La Victoria - Patapo

01.- Tamaño máximo nominal	1"	pulg.
02.- Peso específico seco de masa	2686	Kg/m ³
03.- Peso Unitario compactado seco	1480	Kg/m ³
04.- Peso Unitario suelto seco	1355	Kg/m ³
05.- Contenido de humedad	0.52	%
06.- Contenido de absorción	0.65	%

II.) Datos del agregado fino La Victoria - Patapo

07.- Peso específico seco de masa	2475	Kg/m ³		
08.- Peso unitario seco suelto	1586	Kg/m ³		
09.- Contenido de humedad	205	100	0.74	%
10.- Contenido de absorción	20.5	10	1.01	%
11.- Módulo de fineza (adimensional)	2.833			

III.) Datos de la mezcla y otros

12.- Resistencia especificada a los 28 días	F'_{cr}	294	Kg/cm ²
13.- Relación agua cemento	$R^{a/c}$	0.558	
14.- Asentamiento	4 Pulg.		
15.- Volumen unitario del agua : Potable de la zona.	193 L/m ³		
16.- Contenido de aire atrapado	1.5 %		
17.- Volumen del agregado grueso	0.667 m ³		
18.- Peso específico del cemento Portland tipo I	3150 Kg/m ³		
19.- Aditivo Sin Aditivo	0.000 %		
20.- Densidad aparente del aditivo	0.00 g/cm ³		

IV.) Calculo de volúmenes absolutos, corrección por humedad y aporte de agua

a.- Cemento	346	0.110			
b.- agua	193	0.193			
c.- Aire	1.5	0.015			
d.- Arena	779	0.315	44	785	2.1
e.- Grava	987	0.367	56	992	1.3
	2306	1.000			3

V.) Resultado final de diseño (húmedo)

Cemento	346	Kg/m ³
Agua	196	L/m ³
Arena	785	Kg/m ³
Grava	992	Kg/m ³
Sin Aditivo	0.000	L/m ³
	2319	

VI.) Tanda de ensayo

4.581 kg	$F'_{cemento}$ (en bolsas)	8.1
2.603 L	$R^{a/c}$ de diseño	0.558
10.403 kg	$R^{a/c}$ de obra	0.568
13.148 kg	Aditivo en Kg/m ³	0.000
0.000 L		
30.734		

VII.) Dosificación en volumen (materiales con humedad natural)

En bolsa de 1 pie ³ P	1.0	2.27	2.87	24.1	Lts/pie ³
En bolsa de 1 pie ³ V	1.0	2.15	3.19	24.1	Lts/pie ³

Ajuste de agua de tanda

Cantidad de agua sobrante o incrementada

ml	Lt
300	0.300

Consistencia del concreto fresco (Slump)

Slump teorico del diseño
Slump obtenido en comprobación
Ajuste de cantidad de agua

	Pulg.	mm.
	4	101.6
	3 1/4	82.55
Litros	3.81	

Peso unitario del concreto fresco

	Sin / Corr	Corregida
Nº de prueba	2	02
Nº de molde		
Peso de la muestra + peso del molde	gr. 11850	11850
Peso del molde	gr. 5259	5259
Volumen ó Constante del molde	m ³ 0.0028	0.0028
Peso unitario del concreto fresco sin aire incorporado	kg/m ³ 2390	2390

VIII) AJUSTE DE LA MEZCLA DE PRUEBA :

peso de tanda de ensayo 30.734
Peso unitario de la mezcla teorica 2390
Rendimiento 0.0129

	254
Ajuste de agua de mezclado	230
Ajuste de cantidad de cemento	411
Ajuste de grava (húmedo)	982
Ajuste de arena (húmedo)	768
Ajuste por slump	3.81
Ajuste de % de Grava	-4

Ra/c final 0.558
F. Cemento 9.7
% de grava 56
% de arena 44

Materiales	Tanda
	0.064
Cemento	26.149
Agua	14.601
Arena	48.850
Grava	62.441
Total	152.042

Arena
Grava

Dosificación		
Peso	Volumen	
1.00	1.00	Pie ³
23.7	23.7	Litros
1.87	1.77	Pie ³
2.39	<u>2.65</u>	Pie ³
	4.4	Pie ³

4.3. Diseño de mezcla de concreto de $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$



FACULTAD DE INGENIERIA, ARQUITECTURA Y URBANISMO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

TESIS: **DISEÑO DE UN MODELO DINÁMICO CON REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA PREDECIR LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO**

TESISTA:

Chingay Gonzales Gary

ENSAYO : DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO DISEÑO PATRÓN $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$

DISEÑO DE RESISTENCIA

$F'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$

I.) Datos del agregado grueso La Victoria - Patapo

01.- Tamaño máximo nominal	1" pulg.
02.- Peso específico seco de masa	2686 Kg/m ³
03.- Peso Unitario compactado seco	1480 Kg/m ³
04.- Peso Unitario suelto seco	1355 Kg/m ³
05.- Contenido de humedad	0.52 %
06.- Contenido de absorción	0.65 %

II.) Datos del agregado fino La Victoria - Patapo

07.- Peso específico seco de masa	2475 Kg/m ³
08.- Peso unitario seco suelto	1586 Kg/m ³
09.- Contenido de humedad	205 100 0.74 %
10.- Contenido de absorción	20.5 10 1.01 %
11.- Módulo de fineza (adimensional)	2.833

III.) Datos de la mezcla y otros

12.- Resistencia especificada a los 28 días	F'_{cr}	364 Kg/cm ²
13.- Relación agua cemento	$R^{a/c}$	0.466
14.- Asentamiento		4 Pulg.
15.- Volumen unitario del agua : Potable de la zona.		193 L/m ³
16.- Contenido de aire atrapado		1.5 %
17.- Volumen del agregado grueso		0.667 m ³
18.- Peso específico del cemento Portland tipo I		3150 Kg/m ³
19.- Aditivo Sin Aditivo		0.000 %
20.- Densidad aparente del aditivo		0.00 g/cm ³

IV.) Calculo de volúmenes absolutos, corrección por humedad y aporte de agua

a.- Cemento	414	0.131		
b.- agua	193	0.193		
c.- Aire	1.5	0.015		
d.- Arena	725	0.293	42	731
e.- Grava	987	0.367	58	992
	2321	1.000		
				1.3
				3

V.) Resultado final de diseño (húmedo)

Cemento	414	Kg/m ³
Agua	196	L/m ³
Arena	731	Kg/m ³
Grava	992	Kg/m ³
Sin Aditivo	0.000	L/m ³
	2333	

VI.) Tanda de ensayo

5.489 kg	0.013 m^3	
2.601 L	F_{cemento} (en bolsas)	9.7
9.684 kg	$R^{a/c}$ de diseño	0.466
13.148 kg	$R^{a/c}$ de obra	0.474
0.000 L	Aditivo en Kg/m ³	0.000
30.922		

VII.) Dosificacion en volumen (materiales con humedad natural)

En bolsa de 1 pie ³ P	1.0	1.76	2.40	20.1	Lts/pie ³
En bolsa de 1 pie ³ V	1.0	1.67	2.66	20.1	Lts/pie ³

Ajuste de agua de tanda

	ml	Lt
Cantidad de agua sobrante o incrementada	150	0.150

Consistencia del concreto fresco (Slump)

	Pulg.	mm.
Slump teorico del diseño	4	101.6
Slump obtenido en comprobación	3 1/2	88.9
Ajuste de cantidad de agua	Litros 2.54	

Peso unitario del concreto fresco

	Sin / Corr	Corregida
Nº de prueba	2	02
Nº de molde		
Peso de la muestra + peso del molde	gr. 11910	11910
Peso del molde	gr. 5259	5259
Volumen ó Constante del molde	m ³ 0.0028	0.0028
Peso unitario del concreto fresco sin aire incorporado	kg/m ³ 2412	2412

VIII) AJUSTE DE LA MEZCLA DE PRUEBA :

peso de tanda de ensayo	<u>30.922</u>
Peso unitario de la mezcla teorica	2412
Rendimiento	0.0128

	254
Ajuste de agua de mezclado	217
Ajuste de cantidad de cemento	466
Ajuste de grava (húmedo)	995
Ajuste de arena (húmedo)	734
Ajuste por slump	2.54
Ajuste de % de Grava	-3

Ra/c final	0.466
F. Cemento	11.0
% de grava	58
% de arena	42

Materiales	Tanda
	0.064
Cemento	29.635
Agua	13.810
Arena	46.701
Grava	63.280
Total	153.426

Arena
Grava

Dosificación		
Peso	Volumen	
1.00	1.00	Pie ³
19.8	19.8	Litros
1.58	1.50	Pie ³
2.14	<u>2.37</u>	Pie ³
	3.9	Pie ³

4.4. Diseño de mezcla de concreto de $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$



UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN
FACULTAD DE INGENIERIA, ARQUITECTURA Y URBANISMO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

TESIS: **DISEÑO DE UN MODELO DINÁMICO CON REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA PREDECIR LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO**

TESISTA:

Chingay Gonzales Gary

ENSAYO : DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO DISEÑO PATRÓN $f_c = 350 \text{ kg/cm}^2$

DISEÑO DE RESISTENCIA

$F'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$

I.) Datos del agregado grueso La Victoria - Patapo

01.- Tamaño máximo nominal	1"	pulg.
02.- Peso específico seco de masa	2686	Kg/m ³
03.- Peso Unitario compactado seco	1480	Kg/m ³
04.- Peso Unitario suelto seco	1355	Kg/m ³
05.- Contenido de humedad	0.52	%
06.- Contenido de absorción	0.65	%

II.) Datos del agregado fino La Victoria - Patapo

07.- Peso específico seco de masa	2475	Kg/m ³		
08.- Peso unitario seco suelto	1586	Kg/m ³		
09.- Contenido de humedad	205	100	0.74	%
10.- Contenido de absorción	20.5	10	1.01	%
11.- Módulo de fineza (adimensional)	2.833			

III.) Datos de la mezcla y otros

12.- Resistencia especificada a los 28 días	F'_{cr}	434	Kg/cm ²
13.- Relación agua cemento	$R^{a/c}$	0.396	
14.- Asentamiento		4	Pulg.
15.- Volumen unitario del agua : Potable de la zona.		193	L/m ³
16.- Contenido de aire atrapado		1.5	%
17.- Volumen del agregado grueso		0.667	m ³
18.- Peso específico del cemento Portland tipo I		3150	Kg/m ³
19.- Aditivo Sin Aditivo		0.000	%
20.- Densidad aparente del aditivo		0.00	g/cm ³

IV.) Calculo de volúmenes absolutos, corrección por humedad y aporte de agua

a.- Cemento	487	0.155			
b.- agua	193	0.193			
c.- Aire	1.5	0.015			
d.- Arena	668	0.270	40	673	Agua Efectiva
e.- Grava	987	0.367	60	992	1.8
	2337	1.000			1.3
					3

V.) Resultado final de diseño (húmedo)

Cemento	487	Kg/m ³
Agua	196	L/m ³
Arena	673	Kg/m ³
Grava	992	Kg/m ³
Sin Aditivo	0.000	L/m ³
	2348	

VI.) Tanda de ensayo

	6.459	kg	$F'_{cemento}$ (en bolsas)	11.5
	2.599	L	$R^{a/c}$ de diseño	0.396
	8.916	kg	$R^{a/c}$ de obra	0.402
	13.148	kg	Aditivo en Kg/m ³	0.000
	0.000	L		
	31.122			

VII.) Dosificación en volumen (materiales con humedad natural)

En bolsa de 1 pie ³ P	1.0	1.38	2.04	17.1	Lts/pie ³
En bolsa de 1 pie ³ V	1.0	1.31	2.26	17.1	Lts/pie ³

Ajuste de agua de tanda

Cantidad de agua sobrante o incrementada

ml	Lt
250	0.250

Consistencia del concreto fresco (Slump)

Slump teorico del diseño
Slump obtenido en comprobación
Ajuste de cantidad de agua

	Pulg.	mm.
	4	101.6
	3 1/3	84.66667
Litros	3.3866667	

Peso unitario del concreto fresco

	Sin / Corr	Corregida
Nº de prueba	2	02
Nº de molde		
Peso de la muestra + peso del molde	gr. 11970	11970
Peso del molde	gr. 5259	5259
Volumen ó Constante del molde	m ³ 0.0028	0.0028
Peso unitario del concreto fresco sin aire incorporado	kg/m ³ 2433	2433

VIII) AJUSTE DE LA MEZCLA DE PRUEBA :

peso de tanda de ensayo 31.122
 Peso unitario de la mezcla teorica 2433
 Rendimiento 0.0128

	254
Ajuste de agua de mezclado	226
Ajuste de cantidad de cemento	571
Ajuste de grava (húmedo)	987
Ajuste de arena (húmedo)	649
Ajuste por slump	3.386667
Ajuste de % de Grava	-4

Ra/c final 0.396
 F. Cemento 13.4
 % de grava 60
 % de arena 40

Materiales	Tanda
	0.064
Cemento	36.327
Agua	14.386
Arena	41.311
Grava	62.786
Total	154.810

Arena
Grava

Dosificación		
Peso	Volumen	
1.00	1.00	Pie ³
16.8	16.8	Litros
1.14	1.08	Pie ³
1.73	<u>1.92</u>	Pie ³
	3.0	Pie ³

ANEXO 5. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO

5.1. Resistencia la compresión del concreto de $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$



FACULTAD DE INGENIERIA, ARQUITECTURA Y URBANISMO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

TESIS:

DISEÑO DE UN MODELO DINÁMICO CON REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA PREDECIR LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO

TESISTA:

Chingay Gonzales Gary

Ensayo : Metodo de ensayo normalizado para determinacion de la resistencia a la compresion del concreto en muestras cilindricas

Referencia : NTP 339.034

Muestra N°	Concreto	Fecha de vaciado	Fecha de ensayo	Edad (días)	Altura (cm)	Diametro (cm)	R(L/D)	Factor de correccion	Carga (Kg)	F'c (Kg/cm ²)	F'c promedio (Kg/cm ²)	F'c Diseño (Kg/cm ²)	%
1	Convencional	24/10/2019	31/10/2019	7	30.45	15.25	2.00	1	23745	130	133.33	175	76.2
2	Convencional	24/10/2019	31/10/2019	7	30.42	15.35	1.98	1	25168	136			
3	Convencional	24/10/2019	31/10/2019	7	30.5	15.32	1.99	1	24701	134			
4	Convencional	24/10/2019	07/11/2019	14	30.5	15.35	1.99	1	26278	142	145.33	175	83.0
5	Convencional	24/10/2019	07/11/2019	14	30.45	15.05	2.02	1	26319	148			
6	Convencional	24/10/2019	07/11/2019	14	30.55	15.32	1.99	1	26913	146			
7	Convencional	24/10/2019	14/11/2019	21	30.2	15.27	1.98	1	29668	162	160.33	175	91.6
8	Convencional	24/10/2019	14/11/2019	21	30.35	15.3	1.98	1	30152	164			
9	Convencional	24/10/2019	14/11/2019	21	30.5	15.28	2.00	1	28423	155			
10	Convencional	24/10/2019	21/11/2019	28	30.6	15.3	2.00	1	32910	179	181.67	175	103.8
11	Convencional	24/10/2019	21/11/2019	28	30.4	15.3	1.99	1	33094	180			
12	Convencional	24/10/2019	21/11/2019	28	30.5	15.26	2.00	1	34018	186			

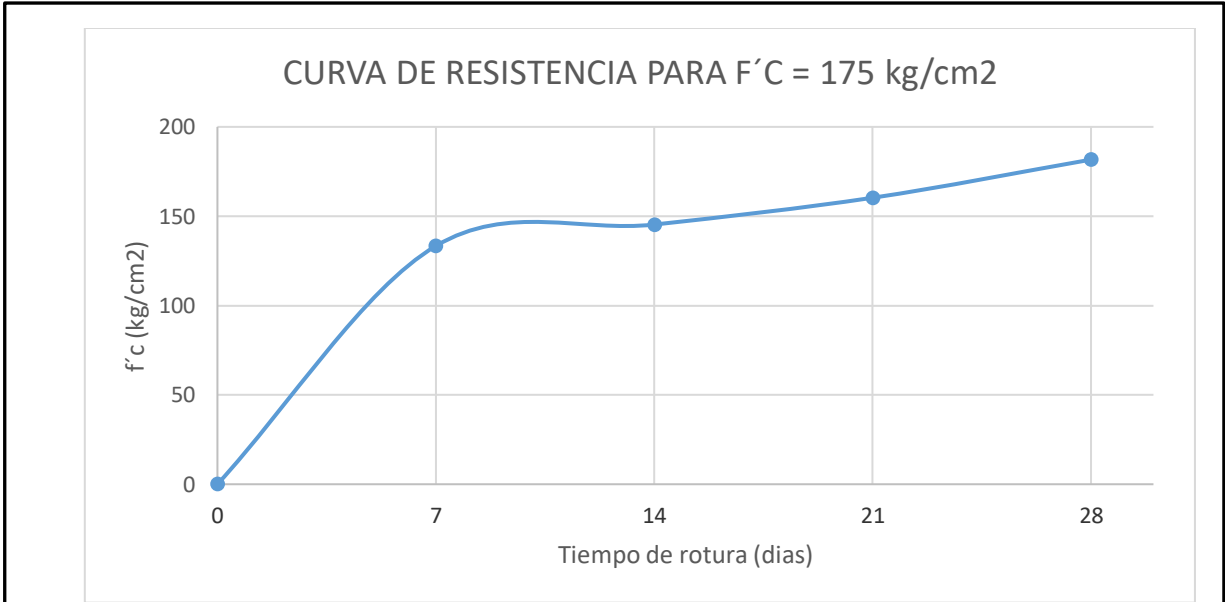


Figura 123. Curva de Resistencia $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$

Fuente: Elaboración propia

5.2. Resistencia a la compresión del concreto de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$



FACULTAD DE INGENIERIA, ARQUITECTURA Y URBANISMO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

TESIS:

DISEÑO DE UN MODELO DINÁMICO CON REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA PREDECIR LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO

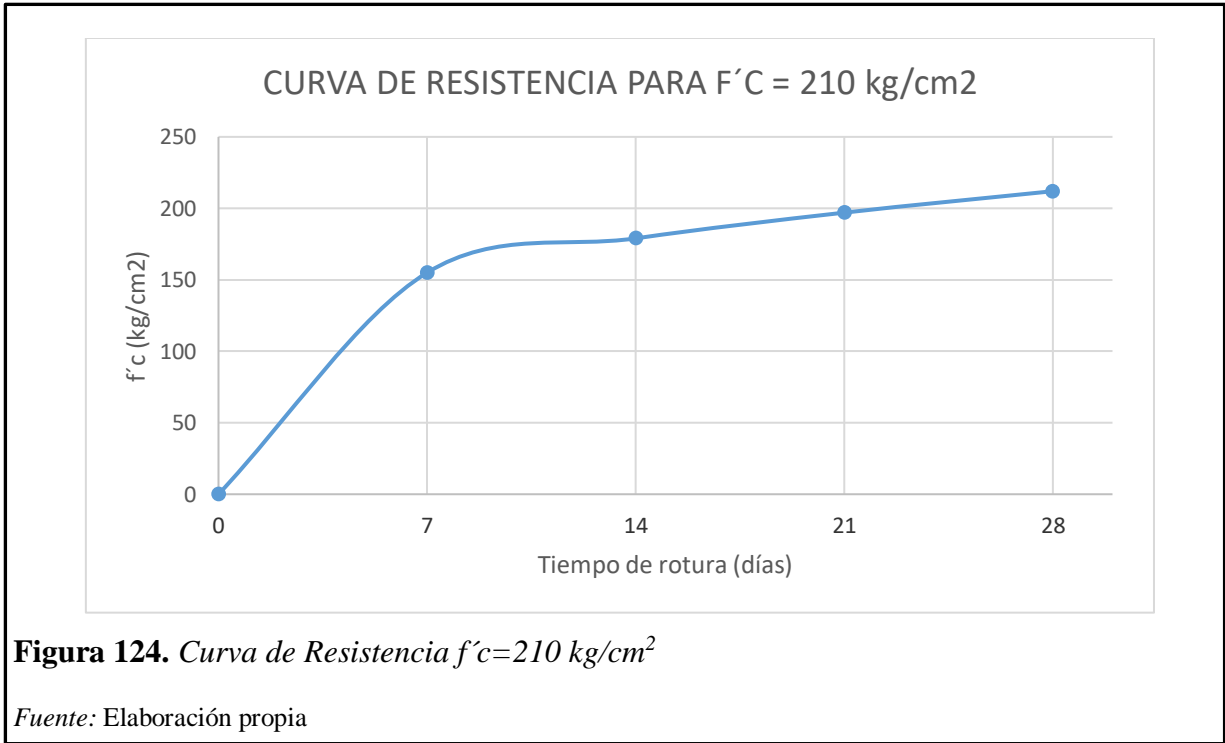
TESISTA:

Chingay Gonzales Gary

Ensayo : Metodo de ensayo normalizado para determinacion de la resistencia a la compresion del concreto en muestras cilindricas

Referencia : NTP 339.034

Muestra N°	Concreto	Fecha de vaciado	Fecha de ensayo	Edad (días)	Altura (cm)	Diametro (cm)	R(L/D)	Factor de correccion	Carga (Kg)	F'c (Kg/cm ²)	F'c promedio (Kg/cm ²)	F'c Diseño (Kg/cm ²)	%
1	Convencional	29/10/2019	05/11/2019	7	30.42	15.26	1.99	1	27800	152	155	210	73.65
2	Convencional	29/10/2019	05/11/2019	7	30.44	15	2.03	1	28232	159			
3	Convencional	29/10/2019	05/11/2019	7	30.52	15.5	1.97	1	28870	153			
4	Convencional	29/10/2019	12/11/2019	14	30.55	15.34	1.99	1	31788	172	179	210	85.40
5	Convencional	29/10/2019	12/11/2019	14	30.46	15.23	2.00	1	33156	182			
6	Convencional	29/10/2019	12/11/2019	14	30.52	15.5	1.97	1	34719	184			
7	Convencional	29/10/2019	19/11/2019	21	30.53	15.24	2.00	1	34841	191	197	210	93.97
8	Convencional	29/10/2019	19/11/2019	21	30.47	15.34	1.99	1	36963	200			
9	Convencional	29/10/2019	19/11/2019	21	30.45	15.25	2.00	1	36713	201			
10	Convencional	29/10/2019	26/11/2019	28	30.55	15.45	1.98	1	38620	206	212	210	100.79
11	Convencional	29/10/2019	26/11/2019	28	30.42	15.3	1.99	1	39712	216			
12	Convencional	29/10/2019	26/11/2019	28	30.55	15.5	1.97	1	40191	213			



5.3. Resistencia a la compresión del concreto de $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$



FACULTAD DE INGENIERIA, ARQUITECTURA Y URBANISMO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

TESIS:

DISEÑO DE UN MODELO DINÁMICO CON REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA PREDECIR LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO

TESISTA:

Chingay Gonzales Gary

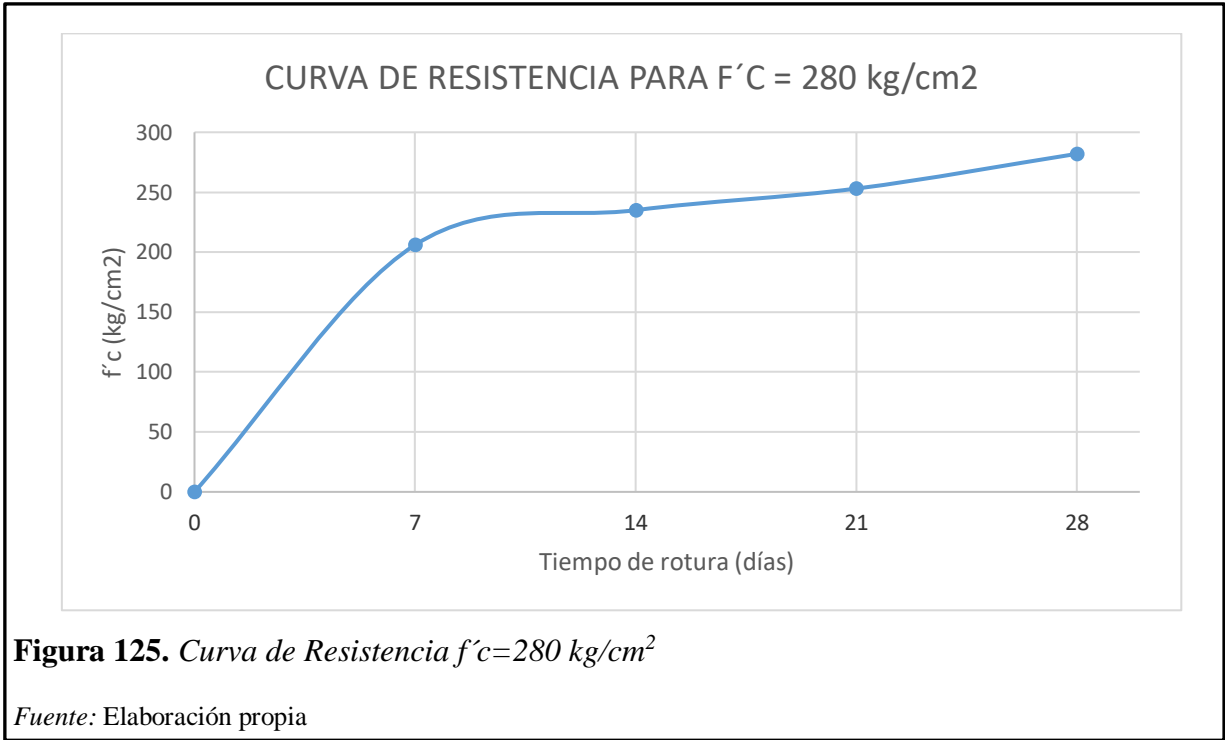
Ensayo

: Metodo de ensayo normalizado para determinacion de la resistencia a la compresion del concreto en muestras cilindricas

Referencia

: NTP 339.034

Muestra N°	Concreto	Fecha de vaciado	Fecha de ensayo	Edad (días)	Altura (cm)	Diametro (cm)	R(L/D)	Factor de correccion	Carga (Kg)	F'c (Kg/cm2)	F'c promedio (Kg/cm2)	F'c Diseño (Kg/cm2)	%
1	Convencional	31/10/2019	07/11/2019	7	30.45	15.26	2.00	1	39505	216	206	280	73.69
2	Convencional	31/10/2019	07/11/2019	7	30.46	15.3	1.99	1	37506	204			
3	Convencional	31/10/2019	07/11/2019	7	30.25	15.23	1.99	1	36253	199			
4	Convencional	31/10/2019	14/11/201	14	30.3	15.3	1.98	1	43941	239	235	280	83.81
5	Convencional	31/10/2019	14/11/201	14	30.35	15.4	1.97	1	42282	227			
6	Convencional	31/10/2019	14/11/201	14	30.5	15.02	2.03	1	42169	238			
7	Convencional	31/10/2019	21/11/2019	21	30.34	15.15	2.00	1	44165	245	253	280	90.48
8	Convencional	31/10/2019	21/11/2019	21	30.2	15.01	2.01	1	44320	250			
9	Convencional	31/10/2019	21/11/2019	21	30.4	15.34	1.98	1	48976	265			
10	Convencional	31/10/2019	28/11/2019	28	30.2	15.54	1.94	1	52158	275	282	280	100.60
11	Convencional	31/10/2019	28/11/2019	28	30.1	15.45	1.95	1	52681	281			
12	Convencional	31/10/2019	28/11/2019	28	30.25	15.34	1.97	1	53412	289			



5.4. Resistencia a la compresión del concreto de $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$



FACULTAD DE INGENIERIA, ARQUITECTURA Y URBANISMO
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

TESIS:

DISEÑO DE UN MODELO DINÁMICO CON REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA PREDECIR LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO

TESISTA:

Chingay Gonzales Gary

Ensayo : Metodo de ensayo normalizado para determinacion de la resistencia a la compresion del concreto en muestras cilindricas

Referencia : NTP 339.034

Muestra N°	Concreto	Fecha de vaciado	Fecha de ensayo	Edad (días)	Altura (cm)	Diametro (cm)	R(L/D)	Factor de correccion	Carga (Kg)	F'c (Kg/cm2)	F'c promedio (Kg/cm2)	F'c Diseño (Kg/cm2)	%
1	Convencional	31/10/2019	07/11/2019	7	30.5	15.4	1.98	1	50664	272	263	350	75.14
2	Convencional	31/10/2019	07/11/2019	7	30.25	15.2	1.99	1	46998	259			
3	Convencional	31/10/2019	07/11/2019	7	30.3	15.42	1.96	1	48181	258			
4	Convencional	31/10/2019	14/11/2019	14	30.45	15.35	1.98	1	51816	280	287	350	81.90
5	Convencional	31/10/2019	14/11/2019	14	30.55	15.4	1.98	1	53272	286			
6	Convencional	31/10/2019	14/11/2019	14	30.35	15.45	1.96	1	55118	294			
7	Convencional	31/10/2019	21/11/2019	21	30.25	15.35	1.97	1	62179	336	329	350	94.10
8	Convencional	31/10/2019	21/11/2019	21	30.3	15.26	1.99	1	60538	331			
9	Convencional	31/10/2019	21/11/2019	21	30.4	15.44	1.97	1	60102	321			
10	Convencional	31/10/2019	28/11/2019	28	30.5	15.42	1.98	1	65175	349	356	350	101.81
11	Convencional	31/10/2019	28/11/2019	28	30.45	15.35	1.98	1	66991	362			
12	Convencional	31/10/2019	28/11/2019	28	30.2	15.42	1.96	1	66856	358			

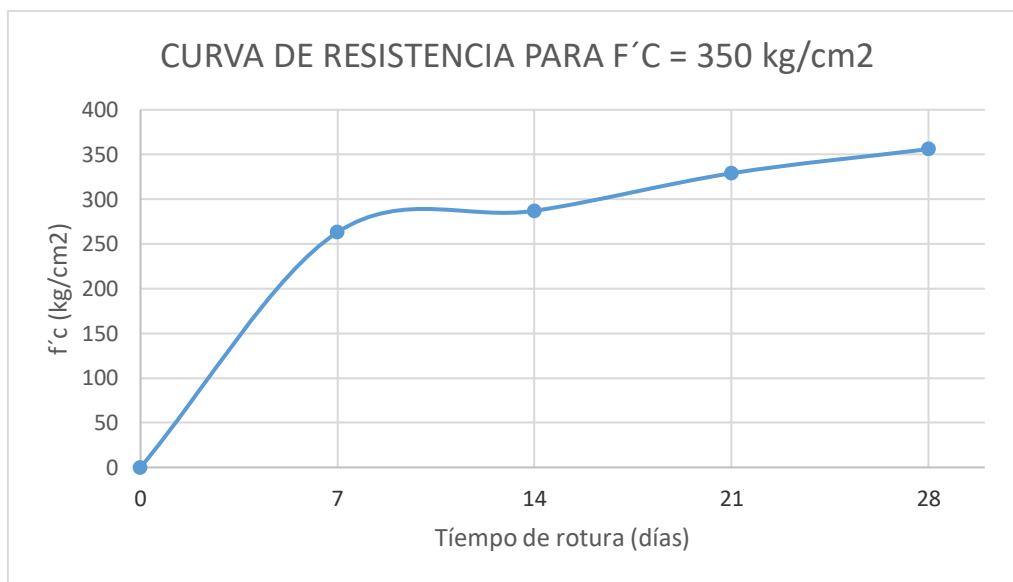


Figura 126. *Curva de Resistencia $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$*

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 6. PANEL FOTOGRAFICO



Figura 127. *Granulometría del agregado*



Figura 128. *Peso Unitario Seco del agregado fino*



Figura 129. *Peso Unitario Seco del agregado grueso*



Figura 130. *Contenido de Humedad del agregado grueso y fino*



Figura 131. *Agregados para el ensayo de Peso Especifico*



Figura 132. *Elaboración del concreto*



Figura 133. *Ensayo del Cono de Abrams*



Figura 134. *Asentamiento de la mezcla de concreto*



Figura 135. *Llenado de probetas*



Figura 136. *Curado de probetas*



Figura 137. Preparación de probetas



Figura 138. Ensayo de Resistencia a la Compresión del concreto



Figura 139. Rotura de probetas



Figura 140. Registro de las resistencias a la compresión de las probetas

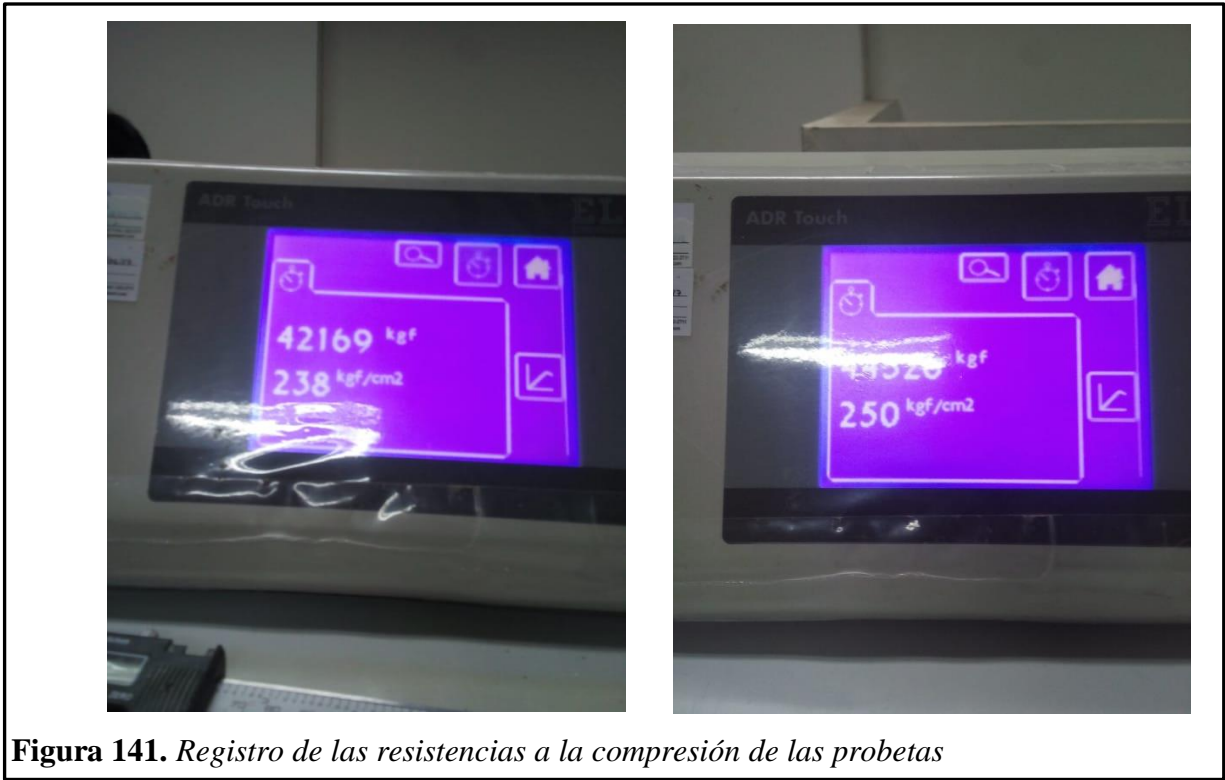


Figura 141. Registro de las resistencias a la compresión de las probetas

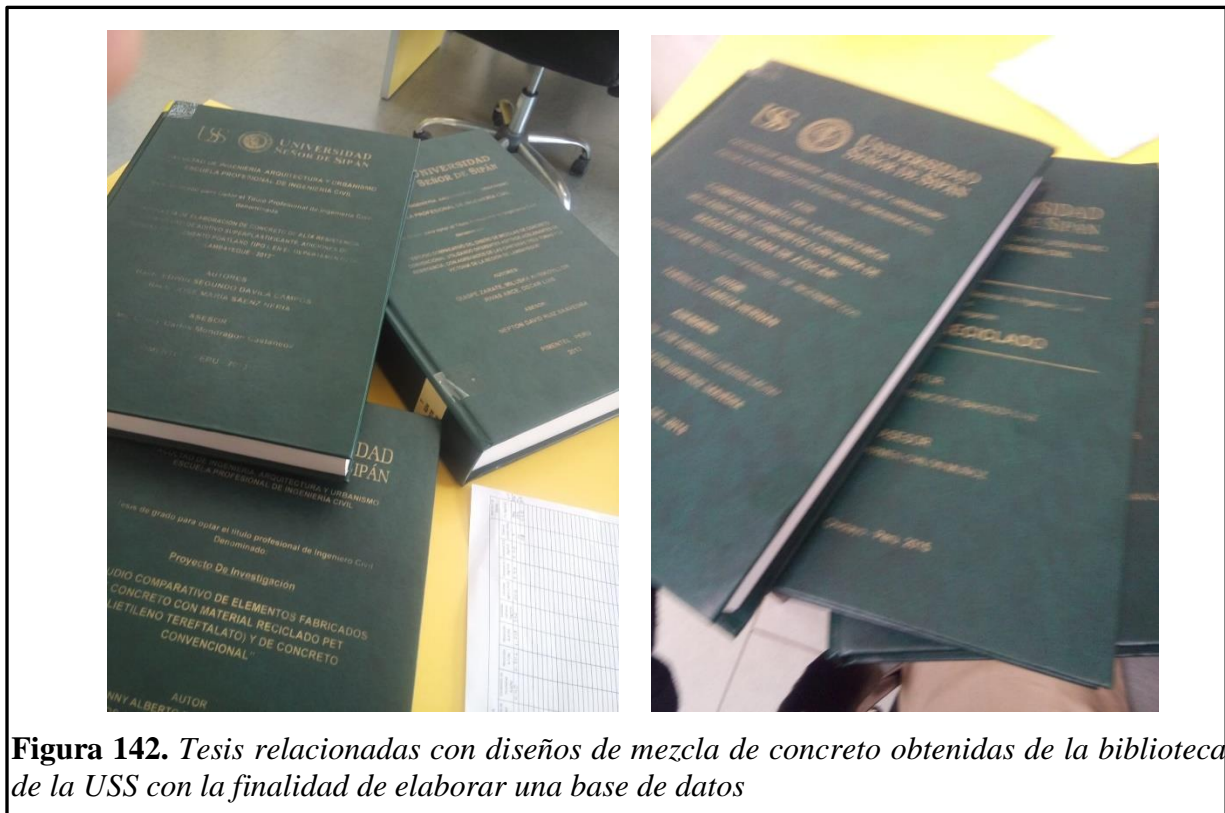


Figura 142. Tesis relacionadas con diseños de mezcla de concreto obtenidas de la biblioteca de la USS con la finalidad de elaborar una base de datos



Figura 143. Visita a la biblioteca de la UCV Chiclayo con la finalidad de obtener tesis relacionadas al diseño de mezcla de concreto