UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

(Creada por Ley N°. 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL - HUANCAVELICA

TESIS

"INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE ACERO EN LA RESISTENCIA A TRACCIÓN INDIRECTA DEL CONCRETO MEDIANTE REDES NEURONALES ARTIFICIALES"

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

ESTRUCTURAS Y CONCRETO

PRESENTADO POR:

Bach. CCOYLLAR URRUCHI, Engels Vladimir

Bach. SALAZAR DE LA CRUZ, Santiago

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

HUANCAVELICA, PERÚ

2021

Universidad Nacional de Huancavelica
Facultad de Ciencias de Ingeniería
DECANATO
HUANCAVELICA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA

ACTA DE SUSTENTACIÓN VIRTUAL DE TESIS

En la ciudad de Huancavelica, a los veintisiete días (27) del mes de octubre del año 2021, siendo las dieciocho horas (18:00), se reunieron los miembros del Jurado Calificador conformado por los docentes: M.Sc. Marco Antonio López Barrantes (Presidente), M.Sc. Hugo Rubén Lujan Jeri (Secretario), Ing. Omar Caballero Sánchez (Asesor), designados con Resolución de Decano Nº 216-2021-FCI-UNH, de fecha 01 de setiembre del 2021, a fin de proceder con la sustentación y calificación virtual mediante el aplicativo MEET del informe final de tesis titulado: **"INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE ACERO EN LA RESISTENCIA A TRACCIÓN INDIRECTA DEL CONCRETO MEDIANTE REDES NEURONALES ARTIFICIALES"**, presentado por los Bachilleres **Santiago SALAZAR DE LA CRUZ y Engels Vladimir CCOYLLAR URRUCHI**, para optar el **Título Profesional de Ingeniero Civil**. Finalizada la sustentación virtual a horas 7:00 p.m.; se comunicó a los sustentantes y al público en general que los Miembros del Jurado abandonará el aula virtual para deliberar el resultado:

Santiago SALAZAR DE LA CRUZ

APROBADO [X] POR UNANIMIDAD

DESAPROBADO [ ]

Engels Vladimir CCOYLLAR URRUCHI

APROBADO [X] POR UNANIMIDAD

DESAPROBADO [ ]

En señal de conformidad, firmamos a continuación:

Presidente

Secretario

Asesor

Vº Bº Decano

Título

Influencia de las fibras de acero en la resistencia a tracción indirecta del concreto mediante redes neuronales artificiales

Autores

Bach. CCOYLLAR URRUCHI, Engels Vladimir

Bach. SALAZAR DE LA CRUZ, Santiago

Asesor

Ing. CABALLERO SÁNCHEZ, Omar

Resumen

La investigación titulada “Influencia de las fibras de acero en la resistencia a tracción indirecta del concreto mediante redes neuronales artificiales ”, tuvo como objetivo de determinar la influencia de las fibras de acero en la resistencia a tracción indirecta del concreto mediante redes neuronales artificiales ; dicha investigación fue de tipo aplicada, nivel de investigación explicativa y diseño de investigación cuasi experimental; en la muestra se trabajó con 56 especímenes de concreto con f’c = 210 kg/cm^2 y 4 tratamientos: 14 especímenes de concreto convencional, 14 especímenes de concreto con incorporación de fibras de acero en cantidad de 30 kg/m^3 de concreto, 14 especímenes de concreto con incorporación de fibras de acero en cantidad de 50 kg/m^3 de concreto y 14 especímenes de concreto con incorporación de fibras de acero en cantidad de 70 kg/m^3 de concreto curadas a los 28 días, cuyos especímenes fueron ensayadas mediante el ensayo de doble punzonamiento para determinar la resistencia a tracción indirecta; luego se realizó la construcción del modelo de Red neuronal Artificial que permitió predecir la resistencia a tracción indirecta del concreto.

Los resultados de la investigación obtenidos de la Red neuronal Artificial, muestran que adicionando fibra de acero en dosificaciones de 30 kg/m^3, 50 kg/m^3 y 70 kg/m^3 de concreto, la resistencia a tracción indirecta incrementa en 6.74 %, 17.11 %, y 19.67% respectivamente respecto al concreto convencional y los valores promedios de la resistencia a tracción indirecta del concreto convencional, concreto con incorporación de fibra de acero en cantidades de 30 kg/m^3, 50 kg/m^3 y 70 kg/m^3 es 28.64 kg/cm^2, 30.27 kg/cm^2, 33.21 kg/cm^2 y 33.94 kg/cm^2 respectivamente; en cuanto al análisis estadístico se utilizó el Diseño Completamente al Azar con 5% de nivel de significancia y 95% de confiabilidad, el cual obtuvo un p =0.0001 siendo inferior a 0.05, concluyéndose que “Las fibras de acero influyen significativamente en la resistencia a tracción indirecta del concreto mediante redes neuronales artificiales ”.

Palabras claves: fibras de acero, resistencia a tracción indirecta, Red neuronal Artificial.

Abstract

The present investigation entitled "Influence of steel fibers on the indirect tensile strength of concrete through artificial neural networks", aimed to determine the influence of steel fibers on the indirect tensile strength of concrete through neural networks artificial; Said research was of an applied type, level of explanatory research and quasi-experimental research design; In the sample we worked with 56 concrete specimens with f'c = 210 kg/cm^2 and 4 treatments: 14 conventional concrete specimens, 14 concrete specimens with incorporation of steel fibers in a quantity of 30 kg/m^3 of concrete, 14 concrete specimens with incorporation of steel fibers in a quantity of 50 kg/m^3 of concrete and 14 specimens of concrete with incorporation of steel fibers in a quantity of 70 kg/m^3 of concrete cured at 28 days, whose specimens were tested by means of the double punching test to determine indirect tensile strength; then the construction of the Artificial Neural Network model was carried out, which allowed predicting the indirect tensile strength of concrete.

The research results obtained from the Artificial Neural Network show that by adding steel fiber in dosages of 30 kg/m^3 , 50 kg/m^3 and 70 kg/m^3 of concrete, the indirect tensile strength increases by 6.74%, 17.11% , and 19.67% respectively with respect to conventional concrete and the average values of the indirect tensile strength of conventional concrete, concrete with incorporation of steel fiber in quantities of 30 kg/m^3 , 50 kg/m^3 and 70 kg/m^3 is 28.66 kg/cm^2, 30.27 kg/cm^2, 33.21 kg/cm^2 and 33.94 kg/cm^2 respectively; Regarding the statistical analysis, the Completely Random Design was used with a 5% significance level and 95% reliability, which obtained a p = 0.0001 being less than 0.05, concluding that “The steel fibers significantly influence the resistance to Indirect traction of concrete by artificial neural networks ”.

Keywords: Steel fibers, indirect tensile strength, Artificial Neural Network.

Tabla de contenidos

Título ii
Autores iii
Asesor iv
Resumen v
Abstract vi
Tabla de contenidos vii
Tabla de contenido de tablas ix
Tabla de contenido de figuras xii
Introducción xiv
CAPÍTULO I 15
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 15
1.1. Descripción del problema 15
1.2. Formulación del problema 16
1.2.1. Problema general 16
1.2.2. Problema especifico 16
1.3. Objetivo general y específicos 16
1.3.1. Objetivo general 16
1.3.2. Objetivos específicos 16
1.4. Justificación 17
CAPÍTULO II 18
MARCO TEÓRICO 18
2.1. Antecedentes 18
2.1.1 Antecedentes internacionales 18
2.1.2 Antecedentes nacionales 20
2.1.3 Antecedentes locales 22
2.2. Bases teóricas 22
2.3. Hipótesis 41
2.3.1 Hipótesis general 41
2.3.2 Hipótesis específicos 41
2.4. Definición de términos 41
2.5. Definición operativa de variables 42
CAPÍTULO III 43

MATERIALES Y MÉTODOS 43
3.1. Tipo y nivel de investigación 43
3.1.1 Tipo de investigación 43
3.1.2 Nivel de investigación 43
3.2. Método de investigación 43
3.3. Diseño de investigación 44
3.4. Población y muestra 44
3.4.1 Población 44
3.4.2 Muestra 44
3.4.3 Muestreo 45
3.5. Técnica e instrumentos de recolección de datos 45
3.5.1 Técnica 45
3.5.2 Instrumentos 46
3.6. Técnica y procesamiento de datos 46
3.7. Esquema metodológico 47
CAPÍTULO IV 48
PRESENTACIÓN DE RESULTADOS 48
4.1. Análisis de información 48
4.2. Prueba de hipótesis 88
CONCLUSIONES 104
RECOMENDACIONES 105
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA 106
APÉNDICE 109
Apéndice 1: Evidencia fotográfica del proceso de ejecución. 110
Apéndice 2: Resultados de laboratorio 122
Apéndice 3: Constancia de ensayos de laboratorio. 128
Apéndice 4: Ficha técnica de la fibra de acero. 130
Apéndice 5: Ficha técnica del cemento. 132
Apéndice 6: Diseño de redes neuronales usando software Matlab 135
Apéndice 7: Matriz de consistencia. 162

Tabla de contenido de tablas

Tabla 1: Clases de mezcla según su asentamiento. 24
Tabla 2: Compuestos del cemento Pórtland. 28
Tabla 3: Propiedades fisicas de las fibras de acero Wirand de Maccaferri FF1. . 32
Tabla 4: Propiedades mecánicas de las fibras de acero Wirand de Maccaferri FF1. 32
Tabla 5: Definición operativa de variables. 42
Tabla 6: Muestra concreto con fibras de acero. 45
Tabla 7: Muestra concreto sin fibras de acero (concreto patrón). 45
Tabla 8: Granulometría del agregado fino. 48
Tabla 9: Límites de granulometría del agregado fino. 49
Tabla 10: Granulometría del agregado grueso. 50
Tabla 11: Límites de granulometría del agregado grueso. 50
Tabla 12: Peso específico y porcentaje de absorción del agregado fino. 51
Tabla 13: Peso específico y porcentaje de absorción del agregado grueso 51
Tabla 14: Peso unitario compactado del agregado fino 52
Tabla 15: Peso unitario suelto del agregado fino. 52
Tabla 16: Peso unitario compactado del agregado grueso 52
Tabla 17: Peso unitario suelto del agregado grueso. 52
Tabla 18: Contenido de humedad del agregado fino. 53
Tabla 19: Contenido de humedad del agregado grueso 53
Tabla 20: Resumen de la caracterización del agregado fino. 53
Tabla 21: Diseño de mezcla para un metro cúbico de concreto. 54
Tabla 22: Asentamiento del concreto patrón y concreto con adición de fibras de acero en diferentes cantidades. 54
Tabla 23: Resistencia a compresión del concreto según las diferentes cantidades de adición de fibra de acero. 56
Tabla 24: Resistencia a tracción indirecta del concreto según las diferentes cantidades de fibra de acero 57
Tabla 25: Registro de resistencia a tracción del concreto según las diferentes cantidades de adición de fibra de acero. 59
Tabla 26: Indicadores estadísticos de resistencia a tracción indirecta del concreto f'c=210 Kg/cm^2. 59
Tabla 27: Variación porcentual de la resistencia a tracción indirecta debido a la influencia de la fibra de acero, respecto al concreto patrón. 61
Tabla 28: Resumen de las regresiones. 62
Tabla 29: Análisis de varianza con la prueba F para la regresión polinomial de tercer grado. 62
Tabla 30: Estimación de parámetros para la regresión polinomial de tercero grado. 63
Tabla 31: Análisis de varianza. 65
Tabla 32: Prueba del rango estudentizado de Tukey. 67
Tabla 33: Matriz de diferencias entre todos los posibles pares de medias. 67

Tabla 34: Variables de la capa de entrada..... 68
Tabla 35: Variable de la capa de salida..... 69
Tabla 36: Valores de las variables de la capa de entrada y salida de la fase de entrenamiento..... 70
Tabla 37: Valores de las variables de la capa de entrada y salida deseada de la fase de validación. 71
Tabla 38: Resultado de las diferentes arquitecturas del entrenamiento..... 77
Tabla 39: Resultado de la predicción de las redes neuronales..... 80
Tabla 40: Resistencia a tracción indirecta real vs red neuronal 11..... 80
Tabla 41: Resistencia a tracción indirecta real vs red neuronal 14..... 82
Tabla 42: Las resistencias a tracción indirecta real y estimaciones de las redes neuronales artificiales 84
Tabla 43: Resumen de ecuaciones lineales y coeficiente de determinación (R^2). 85
Tabla 44: Registro de resistencia a tracción del concreto según las diferentes cantidades de adición de fibra de acero obtenido de la red neuronal 11..... 85
Tabla 45: Indicadores estadísticos de resistencia a tracción indirecta del concreto f'c=210 Kg/cm^2 obtenido de la red neuronal 14. 86
Tabla 46: Variación porcentual de la resistencia a tracción indirecta debido a la influencia de la fibra de acero, respecto al concreto patrón obtenido de la red neuronal 11..... 87
Tabla 47: Registro de predicciones de las resistencias a tracción indirecta del concreto de la red neuronal artificial 11..... 89
Tabla 48: Análisis de varianza con prueba F de la resistencia a tracción indirecta del concreto patrón y concreto con adición de 30 kg/m^3 de fibras de acero..... 90
Tabla 49: Prueba del rango estudentizado de Tukey de la resistencia a tracción indirecta del concreto patrón y concreto con adición de 30 kg/m^3 de fibras de acero. 91
Tabla 50: Matriz de diferencias entre el par de medias del concreto patrón y concreto con adición de 30 Kg/m^3 de fibras de acero. 92
Tabla 51: Análisis de varianza con prueba F de la resistencia a tracción indirecta del concreto patrón y concreto con adición de 50 kg/m^3 de fibras de acero..... 93
Tabla 52: Prueba del rango estudentizado de Tukey de la resistencia a tracción indirecta del concreto patrón y concreto con adición de 50 kg/m^3 de fibras de acero. 94
Tabla 53: Matriz de diferencias entre el par de medias del concreto patrón y concreto con adición de 50 Kg/m^3 de fibras de acero. 95
Tabla 54: Análisis de varianza con prueba F de la resistencia a tracción indirecta del concreto patrón y concreto con adición de 70 kg/m^3 de fibras de acero..... 96
Tabla 55: Prueba del rango estudentizado de Tukey de la resistencia a tracción indirecta del concreto patrón y concreto con adición de 70 kg/m^3 de fibras de acero. 97
Tabla 56: Matriz de diferencias entre el par de medias del concreto patrón y concreto con adición de 70 Kg/m^3 de fibras de acero. 98

Tabla 57: Análisis de varianza con prueba F de la resistencia a tracción indirecta del concreto patrón y concreto con adición de fibras de acero. 99
Tabla 58: Prueba del rango estudentizado de Tukey de la resistencia a tracción indirecta del concreto patrón y concreto con adición de fibras de acero. 100
Tabla 59: Matriz de diferencias entre todos los posibles pares de medias del concreto patrón y concreto con adición de fibras de acero. 101

Tabla de contenido de figuras

Figura 1. Configuración del ensayo de doble punzonamiento. 27
Figura 2. Fibra de acero con anclaje en las extremidades 30
Figura 3. Fibra de acero de diferentes formas. 31
Figura 4. Modelo de neurona estándar. 35
Figura 5. Arquitectura del perceptrón multicapa..... 37
Figura 6. Esquema de una red neural multicapas 10-10-5. 38
Figura 7. Red neural monocapa. 39
Figura 8. Red neural multicapa. 39
Figura 9. Red neural recurrente. 40
Figura 10. Curva granulométrica del agregado fino..... 49
Figura 11. Curva granulométrica del agregado grueso. 50
Figura 12. Asentamiento del concreto patrón y concreto con adición de fibra de acero en diferentes cantidades. 55
Figura 13. Resistencia promedio a tracción indirecta según las diferentes adiciones de fibra de acero al concreto. 60
Figura 14. Variación porcentual de la resistencia a tracción indirecta debido a la influencia de la fibra de acero, respecto al concreto patrón. 61
Figura 15. Curva de regresión polinomial de tercer grado de la resistencia a tracción indirecta del concreto y cantidad de fibra adicionada. 63
Figura 16. Recta de regresión lineal y curva de regresión cuadrática y cubica.... 64
Figura 17. Diagrama de cajas 66
Figura 18. Agrupamiento de Tukey..... 68
Figura 19. Interfaz de la herramienta de neuronal Network/Data Manager de Matlab. 72
Figura 20. Configuración de la red neuronal 11. 73
Figura 21. Configuración de la red neuronal 14. 73
Figura 22. Estructura de la red neuronal 11. 74
Figura 23. Estructura de la red neuronal 14. 74
Figura 24. Parámetros de entrenamiento de la red neuronal 11. 75
Figura 25. Parámetros de entrenamiento de la red neuronal 14. 75
Figura 26. Resultado de la red neuronal 11. 76
Figura 27. Resultado de la red neuronal 14. 76
Figura 28. Coeficiente de Pearson R de la red neuronal 11 78
Figura 29. Simulación de la red neuronal 11. 79
Figura 30. Simulación de la red neuronal 14. 79
Figura 31. Predicción de la red neuronal 11. 80
Figura 32. Predicción de la red neuronal 14. 80
Figura 33. Resistencia a tracción indirecta real vs predicción por red neuronal 11. 82
Figura 34. Resistencia a tracción indirecta real vs predicción por red neuronal 14. 83

Figura 35. Resistencia promedia a tracción indirecta según las diferentes adiciones de fibra de acero al concreto obtenido de la red neuronal 11..... 87
Figura 36. Variación porcentual de la resistencia a tracción indirecta debido a la influencia de la fibra de acero, respecto al concreto patrón obtenido de la red neuronal 11..... 88
Figura 37. Diagrama de cajas de la resistencia a tracción indirecta del concreto patrón y concreto con adición de 30 kg/m^3 de fibras de acero..... 91
Figura 38. Agrupamiento de Tukey del concreto patrón y concreto con adición de 30 Kg/m^3 de fibras de acero. 92
Figura 39. Diagrama de cajas de la resistencia a tracción indirecta del concreto patrón y concreto con adición de 50 kg/m^3 de fibras de acero..... 94
Figura 40. Agrupamiento de Tukey del concreto patrón y concreto con adición de 50 Kg/m^3 de fibras de acero. 95
Figura 41. Diagrama de cajas de la resistencia a tracción indirecta del concreto patrón y concreto con adición de 70 kg/m^3 de fibras de acero..... 97
Figura 42. Agrupamiento de Tukey del concreto patrón y concreto con adición de 70 Kg/m^3 de fibras de acero. 98
Figura 43. Diagrama de cajas de la resistencia a tracción indirecta del concreto patrón y concreto con adición de fibras de acero. 100
Figura 44. Agrupamiento de Tukey del concreto patrón y concreto con adición de fibras de acero. 101

Introducción

El proyecto de tesis titulado: “Influencia de las fibras de acero en la resistencia a tracción indirecta del concreto mediante redes neuronales artificiales .” ha sido elaborado con la finalidad de optar el título profesional de ingeniero civil y uso para futuras investigaciones, asimismo para la población; en el Perú el concreto es el material más usado en las diversas estructuras, así mismo algunas viviendas están construidas informalmente, los materiales de mala calidad sin control, fallas en el proceso constructivo, mal diseño, así mismo el aumento de cargas debido al cambio de uso de los ambientes, los cuales generan fisuras en las estructuras poniendo en riesgo la vida humana.

Es de esta forma surge el problema general de la investigación con la siguiente interrogación: ¿De qué manera influyen las fibras de acero en la resistencia a tracción indirecta del concreto mediante redes neuronales artificiales ?, con el objetivo general: Determinar la influencia de las fibras de acero en la resistencia a tracción indirecta del concreto mediante redes neuronales artificiales y la hipótesis general: Las fibras de acero influyen significativamente en la resistencia a tracción indirecta del concreto mediante redes neuronales artificiales .

El proyecto de investigación consta de los siguientes capítulos:

Capítulo I: Planteamiento del problema, constituye la descripción y formulación del problema, objetivos generales, objetivo específico y justificación.

Capítulo II: Marco teórico, constituye los antecedentes, bases teóricas sobre el tema de investigación, bases conceptuales, definición de términos, las hipótesis, variables y operacionalización de variables.

Capítulo III: Metodología de investigación, constituye el ámbito temporal y espacial, tipo de investigación, nivel de investigación, población, muestra y muestreo, instrumentos y técnicas para recolección de datos y técnicas y procesamiento de análisis de datos.

Capítulo IV: Presentación de resultados, constituye análisis de información y prueba de hipótesis.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.Descripción del problema

El concreto es el material más usado y versátil en las diversas construcciones, pudiendo ser utilizados para una amplia diversidad de propósitos. El concreto convencional muestra deficiencias a resistencia a flexión y tracción, por ello es necesario reforzar para mejorar las propiedades mecánicas y contrarrestar las fuerzas externas que puede ocurrir durante su vida útil, esto hace difícil su uso en los elementos estructurales que están siendo sometidos a esfuerzos de tracción y ha motivado a muchos investigadores a experimentar la incorporación de diferentes fibras como de vidrio, acero, sintéticas, carbón, nylon, polietileno entre otros al concreto.

La ciudad de Huancavelica se encuentra en expansión urbana, a causa de ello se construyen nuevas edificaciones, pavimentos, muros de contención entre otros, utilizando los mismos materiales tradicionales, dejando de lado la innovación para mejorar las propiedades mecánicas del concreto y su durabilidad, una muestra de ello son los pavimentos rígidos y edificaciones que vienen siendo construidas sin la innovación respectiva, elaborados con el concreto convencional. El concreto reforzado con fibra de acero es limitado por el escaso uso y fomentación.

Por otro lado, utilizando las redes neuronales artificiales a partir de los datos recolectados en la elaboración del concreto se predecirá la resistencia a tracción indirecta del concreto con una buena correlación con respecto a los resultados de laboratorio.

Ante esta situación la investigación se denomina: “La influencia de las fibras de acero en la resistencia a tracción indirecta del concreto mediante redes neuronales artificiales”.

1.2. Formulación del problema

El uso de un concreto reforzado con fibras de acero conduce a la interrogante.

1.2.1. Problema general

- ¿De qué manera influyen las fibras de acero en la resistencia a tracción indirecta del concreto mediante redes neuronales artificiales?

1.2.2. Problema especifico

- ¿De qué manera influye la adición de 30 kg/m^3 de fibras de acero en la resistencia a tracción indirecta del concreto mediante redes neuronales artificiales?
- ¿De qué manera influye la adición de, 50 kg/m^3 de fibras de acero en la resistencia a tracción indirecta del concreto mediante redes neuronales artificiales?
- ¿De qué manera influye la adición de, 70 kg/m^3 de fibras de acero en la resistencia a tracción indirecta del concreto mediante redes neuronales artificiales?

1.3. Objetivo general y específicos

1.3.1. Objetivo general

- Determinar la influencia de las fibras de acero en la resistencia a tracción indirecta del concreto mediante redes neuronales artificiales.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar la influencia de la adición de 30 kg/m^3 de fibras de acero en la resistencia a tracción indirecta del concreto mediante redes neuronales artificiales.
- Determinar la influencia de la adición de 50 kg/m^3 de fibras de acero en la resistencia a tracción indirecta del concreto mediante redes neuronales artificiales.
- Determinar la influencia de la adición de 70 kg/m^3 de fibras de acero en la resistencia a tracción indirecta del concreto mediante redes neuronales artificiales.

1.4. Justificación

El concreto elaborado con la adición de fibra de acero busca mejorar las propiedades mecánicas del concreto como resistencia a compresión, tracción y flexión, así como también anular el proceso de fisuramiento y aumentar su durabilidad.

El concreto con fibra de acero tiene la capacidad de absorber energía y una resistencia mayor a flexión y tracción, por su ductilidad que posee. Asegurando la durabilidad en su vida útil de la estructura.

Estamos en la evolución de sistemas computaciones aplicados en la ingeniería, que nos permite estimar la variable de salida (resistencia a tracción indirecta) mediante modelos de redes neuronales artificiales las cuales son inspirados en el cerebro humano, estos modelos predicen a partir de las variables de entrada obtenidos en el laboratorio.

Las fibras de acero en el concreto pueden reducir la cantidad de material, la sección y espesor de los elementos estructurales por su aumento en su resistencia respecto al concreto convencional.

Con las informaciones obtenidas contribuimos con la fomentación para el uso de fibras de acero y para que puedan guiarse en las construcciones o investigaciones futuras.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1 Antecedentes internacionales

- **Han, Zhao, Chen, y Lan (2019)**, desarrollaron la siguiente investigación que tuvo por nombre: "*Effects of steel fiber length and coarse aggregate maximum size on mechanical properties of steel fiber reinforced concrete*", en la Revista Elsevier Science Ltd. Tuvo por objetivo general: los efectos de la longitud de la fibra de acero y el tamaño máximo de agregado grueso en las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibra de acero (SFRC). Los resultados de la investigación experimental muestran que la caída de la mezcla, la resistencia a la rotura por tracción, la resistencia a la flexión, la relación de resistencia a la flexión inicial, la relación de resistencia a la flexión, la energía de fractura y la resistencia a la fractura inestable de SFRC aumentan a medida que aumenta la longitud de la fibra de acero. La resistencia a la compresión y la resistencia a la fractura inicial apenas se ven influidas por la longitud de la fibra de acero. Con el aumento del tamaño máximo del agregado grueso, (a) la caída de la mezcla aumenta, (b) la resistencia a la compresión muestra ligeras variaciones, (c) la resistencia a la rotura por tracción, la resistencia a la flexión, la energía de fractura y la tenacidad a la fractura inestable aumentan primero y luego disminuyen, (d) no hay variaciones indicativas para la relación de resistencia a la flexión inicial, la relación de resistencia a la flexión y la resistencia a la fractura

inicial. El rango racional de la relación entre la longitud de la fibra de acero y el tamaño máximo de agregado grueso es 1.25–3 para el considerable efecto de refuerzo de la fibra de acero en la resistencia a la rotura y el rendimiento de flexión del concreto y 1-4 para las características de fractura, respectivamente.

- **Lantsoght (2019)**, realizó la siguiente investigación que tuvo por nombre: *"How do steel fibers improve the shear capacity of reinforced concrete beams without stirrups?*", en la Revista Elsevier Science Ltd. Llegó a la conclusión: agregar fibras de acero al concreto altera algunas de sus propiedades mecánicas, mejora la resistencia a la tracción, el ancho y el espacio entre grietas se reducen. Cuando se trata de la capacidad de corte del concreto reforzado con fibra de acero (SFRC) miembros sin refuerzo de corte, la influencia de las fibras debe estudiarse en función de los diferentes mecanismos de transporte de corte. La mayor zona de compresión da como resultado una mayor capacidad de corte de la zona de compresión de hormigón en SFRC en comparación con RC. Las fibras llevan tensión a través de la grieta, lo que proporciona resistencia al corte. La acción del pasador se mejora a través de la unión mejorada de refuerzo de hormigón y a través de la mayor resistencia de la cubierta contra la división. El efecto de las fibras en el enclavamiento agregado debe estudiarse a través del ancho de grietas y el espaciado en SFRC. La acción de arquear parece mejorar con la inclusión de fibras, pero requiere más estudio. Entonces, la relación entre estos mecanismos debe estudiarse para predecir la resistencia al corte final.
- **Chaboki, Ghalehnovi, Karimipour, Brito, y Mohsen, (2019),** desarrollaron la siguiente investigación: "*Shear behaviour of concrete beams with recycled aggregate and steel fibres"*, en la revista Elsevier Science Ltd. Tuvo como propósito: estudiar principalmente las características de corte de las vigas de hormigón armado fabricadas mediante la introducción de agregado grueso reciclado (RA) y fibras de acero. Para ese propósito, se produjeron 27 vigas de concreto (15 cm, 20 cm y 150 cm de ancho, alto y largo, respectivamente) con un espaciado diferente del refuerzo transversal (TR). Además, el RA obtenido de los residuos de demolición de edificios e introducido en las

mezclas de hormigón al 0%, 50% y 100%. Además, las fibras de acero (SF) se introdujeron en las vigas al 0%, 1% y 2% para mejorar las características de flexión. Las muestras se sometieron a una prueba de flexión de 4 puntos. En esta prueba, se obtuvieron la desviación máxima, la capacidad de corte, en el tramo medio de la viga y la tensión de tensión. El objetivo de esta investigación fue determinar la influencia de la separación entre SF y TR y SF sobre vigas de hormigón armado RA. Además, se compararon los resultados de este experimento y los requisitos que se muestran en los estándares (por ejemplo, código de modelo CEB-fib, ACI y CSA). Los resultados muestran que SF mejoró la deformación máxima de las muestras y su uso mejoró el comportamiento de corte de las vigas de hormigón RA en relación con las muestras de control.

2.1.2 Antecedentes nacionales

- **Vásquez (2015)**, realizó la investigación: *"Comportamiento mecánico del concreto con adición de fibra de acero para una resistencia de 500 kg/cm^2"*, la investigación tuvo como objetivo evaluar cómo influye la adición de fibra de acero en el comportamiento mecánica del concreto para una resistencia de 500 kg/cm^2. La muestra constituida por 270 especímenes de concreto, entre probetas cilíndricas y prismáticas, con y sin fibra de acero, así como también con y sin adición de Sikament 290N en proporción del 0.7% del peso de cemento. Realizó un diseño experimental, los resultados experimentales mostraron una disminución de la consistencia y por ende de la trabajabilidad del concreto fresco a medida que se incrementa la cantidad de fibra de adición, en cuanto al peso unitario, tanto en estado fresco y endurecido se incrementa moderadamente con la incorporación de Sikament 290N y con la adición de fibra de acero, pero manteniéndose en el rango de concretos normales. En cuanto a la resistencia a la compresión se determinó que el Sikament 290N mejora esta propiedad, sin embargo la fibra de acero más bien tiene una ligera tendencia a disminuirla. Pero en lo referente a la resistencia a la tracción indirecta y flexión la fibra de acero brinda incrementos de hasta 165.62 % y 180.50% respectivamente respecto al concreto patrón.

- **Ramos (2019)**, realizó su investigación "*Análisis comparativo del comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibra de polipropileno y acero*", la investigación tuvo como finalidad comparar la resistencia mecánica del concreto f'c = 250 kg/cm2 reforzado con fibras de polipropileno, acero y ambas fibras, con el concreto patrón. Estuvo conformado por 120 especímenes de concreto cilíndrico y 30 especímenes de concretos prismáticos, utilizándose los agregados de la cantera "Margarita" ubicada en Chilete y cemento Pacasmayo fortimax 3 tipo MS. Trabaja un diseño experimental, se concluyó que la adición de fibra de acero disminuye en 7.152% a la resistencia a compresión debido a la reducción de la trabajabilidad, mientras que aumenta en 23.066% y 19.329% a la resistencia a flexión y tracción indirecta respectivamente, ya que le agrega ductilidad. En el caso del concreto reforzado con fibra de polipropileno se produjo un incremento de hasta 5.705%, 11.333% y 12.278% en los ensayos a compresión, flexión y tracción indirecta respectivamente. Por último, en los especímenes reforzados con ambas fibras se produjo un aumento de 9.639%, 15.192% y 16.382% en los ensayos descritos, los cuales fueron realizados según las normas NTP y ASTM. Los resultados expresados se determinaron al compararlos con el concreto patrón f'c = 250 kg/cm^2.
- **Soto (2018)**, realizó la investigación "*Análisis de la resistencia a la tracción del concreto de f'c = 210kg/cm^2* reforzado con fibras de acero – Huánuco - 2016", lo cual tuvo como objetivo determinar la resistencia a la tracción del concreto de f'c = 210 kg/cm^2 reforzado con fibras de acero. La muestra constituida por 140 especímenes de concreto de probetas cilíndricas, con y sin fibra de acero, dicha investigación realizó un diseño experimental. En conclusión, la resistencia a la tracción del concreto sin fibras de acero es 10.40% de la resistencia a la compresión a los 28 días de edad, incorporando fibras de acero se obtiene un 16.88% de la resistencia a la compresión a los 28 días de edad del concreto sin fibras de acero, teniendo un aumento de 6.48% en su resistencia a la tracción con respecto a su resistencia a la compresión. Las fibras de acero como material de refuerzo, mejoran la

resistencia a la tracción del concreto y su resistencia a la compresión en las condiciones ensayadas.

2.1.3 Antecedentes locales

En esta ciudad de Huancavelica no se encontró investigaciones realizadas por otros investigadores que guardan relación directa con el problema objeto de investigación, como también en función de nuestras variables.

2.2.Bases teóricas

2.2.1. Concreto

Rivva (2000), definió: "El concreto es un producto artificial compuesto que consiste de un medio ligante denominado pasta, dentro del cual se encuentran embebidas partículas de un medio ligado denominado agregado" (pág. 8).

Del mismo modo Torre (2004), define como "un material de uso común, o convencional y se produce mediante la mezcla de tres componentes esenciales, cemento, agua y agregados, a los cuales eventualmente se incorpora un cuarto componente que genéricamente se designa como aditivo" (pág. 74).

La Norma Técnica Peruana define: "Mezcla de material aglomerante (conglomerante) y agregados fino y grueso. En el concreto normal, comúnmente se usan como medio aglomerante, el cemento Portland y el agua, pero también pueden contener puzolanas, escorias y/o aditivos" (NTP 339.047, 2006).

2.2.1.1. Concreto en estado fresco

a) Trabajabilidad o manejabilidad

La trabajabilidad del concreto en estado fresco Abanto (2009), define como "facilidad que presenta el concreto fresco para ser mezclado, colocado, compactado y acabado sin segregación y exudación durante estas operaciones" (pág. 47). Se debe agregar que Rivva (2000) afirma: "La trabajabilidad del concreto está determinada, entre otros factores, por las características, granulometría, y proporción de los agregados fino y grueso, por cuanto dichos factores regulan la cantidad de agua necesaria para producir un concreto trabajable" (pág. 205).

Hay que mencionar, además “La trabajabilidad está representada por el grado de compacidad, cohesividad, plasticidad y la consistencia o movilidad” (Niño, 2010, pág. 100).

No existe alguna prueba hasta hoy día que permita medir esta propiedad generalmente se le aprecia en los ensayos de consistencia

b) Segregación

Es una propiedad del concreto en estado fresco cabe mencionar Rivva (2000), define la segregación como “la descomposición mecánica del concreto fresco en sus partes constituyentes cuando el agregado grueso tiende a separarse del mortero” (pág. 210). La segregación se presenta de dos formas:

> Una de ellas ocurre cuando se usan mezclas pobres y demasiado secas, de tal manera que las partículas gruesas tienden a separarse, bien sea, porque se desplazan a lo largo de una pendiente o porque se asientan más que las partículas finas. El segundo tipo se presenta particularmente en mezclas húmedas, y se manifiesta por la separación de una parte de los agregados. (Niño, 2010, pág. 109)

Además Neville (1999) , menciona:

> La segregación como la separación de los constituyentes de una mezcla heterogénea de modo que su distribución ya no es uniforme. En el caso del concreto, las diferencias en el tamaño de las partículas y en el peso específico de los constituyentes de la mezcla son las causas primarias de la segregación, pero su efecto puede controlarse con la selección de una granulometría adecuada y con el cuidado en el manejo de la mezcla. (pág. 153)

c) Exudación o sangrado

Se le conoce también a la exudación como sangrado, “que consiste en qué parte del agua de mezclado tiende a elevarse a la superficie del concreto recién colocado o durante el proceso de fraguado... es una forma especial de segregación o de sedimentación de las partículas” (Sánchez,D., 1996, pág. 124).

d) Consistencia o fluidez

La consistencia es una propiedad del concreto en estado fresco “que define la humedad de la mezcla por el grado de fluidez de la misma; entendiéndose por ello que cuanto más húmeda es la mezcla mayor será la facilidad con la que el concreto fluirá durante su colocación” (Rivva, 2000, pág. 208).

En términos generales se refiere a su estado de fluidez, es decir, qué tan dura (seca) o blanda (fluida) es una mezcla de concreto cuando se encuentra en estado plástico” (Sánchez, 1996, pp.111-112).

El ensayo de consistencia, llamado también de revenimiento o "slump test", es utilizado para caracterizar el comportamiento del concreto fresco.

> El ensayo consiste en consolidar una muestra de concreto fresco en un molde troncocónico, midiendo el asiento de la mezcla luego de desmoldeado. El comportamiento del concreto en la prueba indica su "consistencia" o sea su capacidad para adaptarse al encofrado o molde con facilidad, manteniéndose homogéneo con un mínimo de vacíos. La consistencia se modifica fundamentalmente por variaciones del contenido del agua de mezcla. (Abanto, 2009, pp. 47-48)

El procedimiento del ensayo está en la NTP 339.035, 2009, es el metodo del ensayo para medir el asentamiento del concreto.

Tabla 1:

Clases de mezcla según su asentamiento.

Consistencia	Asentamiento	Trabajabilidad	Metodo de compactacion
Seca	0” a 2”	Poco trabajable	Vibración normal
Plástica	3” a 4”	Trabajable	Vibración ligera
Húmeda	5” a más	Muy trabajable	Chuseado

Fuente: (Abanto, 2009)

e) Compacidad

“Es la facilidad con la que el concreto o mortero fresco es compactado o consolidado para reducir el volumen de vacíos y por lo tanto el aire atrapado” (Niño, 2010, pág. 100).

f) Peso unitario

El peso unitario Rivva (2000), define “a la relación del volumen de sólidos al volumen total de una unidad cúbica. Puede también entenderse como el

porcentaje de un determinado volumen del concreto que es material sólido" (pág. 213). Se expresa en kilos por metro cúbico.

2.2.1.2. Concreto en estado endurecido

a) Resistencia

La resistencia en el concreto es "una habilidad para resistir esfuerzos. ... El concreto presenta una alta resistencia a los esfuerzos de compresión y muy poca a los de tracción" (Niño, 2010, pág. 119). La relación agua cemento es el factor que afectan la resistencia del concreto.

Las pruebas de resistencia del concreto son:

- resistencia a la compresión,
- resistencia a la flexión,
- resistencia a la tracción.

2.2.2. Resistencia a tracción de concreto

El concreto es el material de poca resistencia a la tracción. Esta escasa resistencia dificulta su uso en elementos estructurales que están sujetos a esfuerzos de tracción para ilustrar mejor (como los tirantes) o en parte de sus secciones transversales (como vigas u otros elementos sometidos a flexión) (Abanto,209). "Para superar esta limitación se utiliza el acero, con su elevada resistencia a tracción. La combinación resultante de ambos materiales, se conoce como concreto armado, posee muchas de las mejores propiedades de cada uno" (Abanto, 2009, pp. 11-12).

"Por su naturaleza, el concreto es bastante débil a esfuerzos de tracción, esta propiedad conduce generalmente a que no se tenga en cuenta en el diseño de estructuras normales" (Niño, 2010, pág. 124).

Dentro de los ensayos a tracción del concreto tenemos:

a) Ensayo a tracción directa

- muestras en forma de hueso de perro (Dogbone specimens)
- ensayo de muestras con entallas

b) Ensayo a tracción indirecta

- ensayo brasileño
- **ensayo de doble punzonamiento**

El ensayo de doble punzonamiento es un ensayo diseñado como una opción más al ensayo brasileño. En el ensayo de doble punzonamiento se dispone un espécimen cilíndrico de concreto de dimensiones:15cm de diámetro y 15cm de altura de manera vertical entre las placas de carga a compresión uniaxial, se utiliza dos punzones circulares de acero de dimensiones: diámetro 1/4 del diámetro de la probeta y altura 1/5 de la altura de la probeta dispuestos concéntricamente encima y debajo del espécimen a ensayar. (Saludes, 2006)

El ensayo de doble punzonamiento para determinar la resistencia a tracción indirecta del concreto tiene algunas ventajas que se menciona a continuación:

- "El ensayo se realiza mediante una prensa convencional (de rotura de probetas a compresión), la cual existe en la mayoría de laboratorios" (Saludes, 2006, pág. 19).
- "Se requiere de una muestra menor en volumen en comparación con otros métodos de ensayo, como por ejemplo en aquellos que usan como muestras vigas o paneles" (Saludes, 2006, pp. 20). Esto hace posible el ahorro de los materiales usados.

- Para determinar la resistencia a tracción del concreto reforzado con fibra, se calcula con la siguiente formula:

$$f'_{ct} = \frac{4P}{9\pi * a * h}$$

Donde:

f'_{ct}: resistencia a tracción,

P: carga de rotura,

h: altura de cilindro,

a: diámetro del punzón.

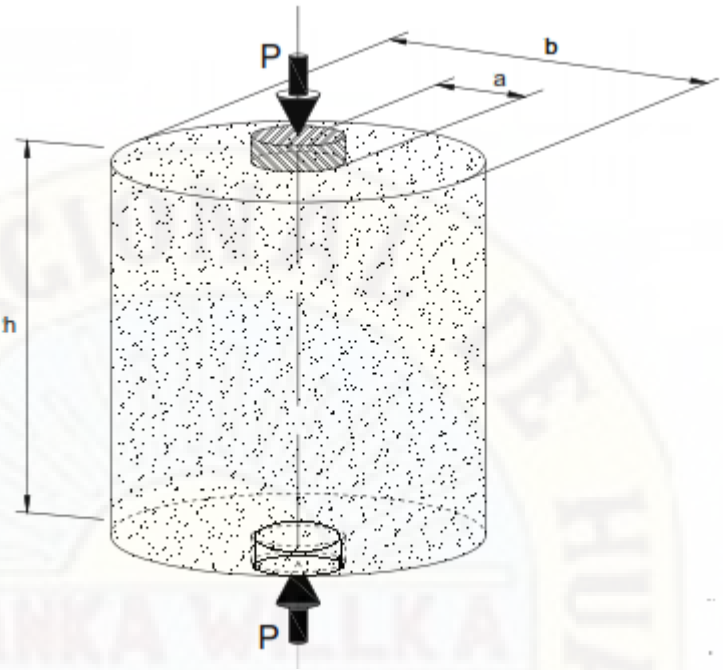


Figura 1. Configuración del ensayo de doble punzonamiento.
Fuente: (Saludes, 2006)

2.2.3. Composición del concreto

2.2.3.1. Cemento

"Se define como cementos a los materiales pulverizados que poseen la propiedad que, por adición de una cantidad conveniente de agua, forman una pasta conglomerante capaz de endurecer tanto bajo el agua como al aire y formar compuestos estables" (Rivva, 2000, pág. 30).

En el medio de la construcción, y más específicamente en el de la fabricación de concreto para estructuras, es reconocido que al mencionar la palabra cemento, implícitamente ésta se refiere a cemento Portland, o cemento a base de portland, el cual tiene la propiedad de fraguar y endurecer en presencia de agua ya que con ella experimenta una reacción química. Este proceso se llama hidratación, por lo cual son también llamados cementos hidráulicos. (Sánchez,D., 1996, pág. 27)

La Norma Tecnica Peruana define cemento Pórtland como "Cemento hidráulico producido mediante la pulverización del clinker compuesto esencialmente de silicatos de calcio hidráulicos y que contiene generalmente sulfato de calcio y eventualmente caliza como adición durante la molienda" (NTP 334.009, 2005).

a) Composición química del cemento Portland

Las materias primas que conforman el cemento son cal, sílice, alumina y óxido de hierro (Portugal, 2007).

Tabla 2:
Compuestos del cemento Pórtland.

Nombre del componente	Composición del óxido	Abreviatura
Silicato tricálcico	3CaO.SiO2	C3S
Silicato dicálcico	2CaO.SiO2	C2S
Aluminato tricálcico	3CaO.Al2O3	C3A
Aluminio ferrito tetracálcico	4Cao.Al2O3. Fe2O3	C4AF

Fuente: (Niño, 2010)

2.2.3.2. Agregado

El agregado grueso "son materiales inertes que se combinan con los aglomerantes (cemento, cal, etc) y el agua formando los concretos y morteros. La importancia de los agregados radica en que constituyen alrededor del 75% en volumen, de una mezcla típica de concreto" (Abanto, 2009, pág. 23).

Llamados también áridos se clasifican en:

a) **Agregados finos:** La Norma Técnica Peruana, define como: **"**el agregado proveniente de la desintegración natural o artificial, que pasa el tamiz normalizado 9,5 mm (3/8 pulg) y queda retenido en el tamiz normalizado 74 µm (N° 200)" (NTP 400.037, 2014)**.**
   - Arena fina
   - Arena gruesa

b) **Agregados gruesos: "**Es el agregado retenido en el tamiz normalizado 4,75 mm (N° 4) proveniente de la desintegración natural o mecánica de la roca" (NTP 400.037, 2014).
   - Grava
   - Piedra

2.2.3.3. Agua

De acuerdo a Sánchez, D. (1996), el agua se define "como aquel componente del concreto en virtud del cual, el cemento experimenta reacciones químicas que le dan la propiedad de fraguar y endurecer para

formar un sólido único con los agregados" (pág. 57). Se clasifica en agua de mezclado y agua de curado.

Según, la Norma Técnica Peruana NTP 339.088, 2006 (Citado por Rivva, 2000, pág. 255) el agua debe estar dentro de los parámetros siguientes:

- el contenido máximo de materia orgánica, expresada en oxígeno consumido, será de 3 ppm (partes por millon),
- el contenido de residuo sólido no será mayor de 5000 ppm,
- el ph estará comprendido entre 5,5 y 8,
- el contenido de sulfatos, expresado en ion so4 será menor de 600 ppm,
- el contenido de cloruros, expresado en ion cl será menor de 1000 ppm,
- el contenido de carbonatos y bicarbonatos alcalinos (alcalinidad total)

será mayor de 1000ppm. (Rivva, 2000, pág. 255)

El agua deberá estar libre de azúcares o sus derivados. Igualmente lo estará de sales de potasio o de sodio.

2.2.4. Fibras

La Instrucción Española del Hormigón Estructural (EHE-08, 2008), define las fibras como "elementos de corta longitud y pequeña sección que se incorporan a la masa del hormigón a fin de conferirle ciertas propiedades específicas" (pág. 507).

> Las fibras fueron usadas como material de construcción por muchos siglos. En las últimas tres décadas hubo un crecimiento por el interés en el uso de fibras en concreto premezclado, concreto prefabricado y concreto lanzado (hormigón proyectado, gunitado). Las fibras de acero, plástico, vidrio y materiales naturales (celulosa de madera) están disponibles en una amplia variedad de formas, tamaños y espesor; pueden ser cilíndricas, llanas, onduladas (rizadas) y deformadas con longitud típica de 60 mm a 150 mm (0.25 pulg. a 6 pulg.) y espesor variando de 0.005 mm a 0.75 mm (0.0002 pulg. a 0.03 pulg.). Las fibras se añaden al concreto durante el mezclado. (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, y Tanesi, 2004, pág.153)

Existen varios tipos de fibras para el concreto entre ellos tenemos:

- fibra de vidrio,

- fibra de acero,
- fribra sintetica (acrílicas, aramida, carbón, nylon, poliéster, polietileno y polipropileno),
- fibras naturales.

2.2.4.1. Fibras de acero

Para Kosmatka, et al. (2004), sostiene que:

> Las fibras de acero cortas son pequeños pedazos discontinuos de acero con un aspecto o esbeltez (relación entre longitud y diámetro) que varía entre 20 y 100 y con muchas secciones transversales. Algunas fibras de acero tienen extremos conformados para mejorar la resistencia al arrancamiento de la matriz a base de cemento. (pág. 154)

Básicamente, la fibra se caracteriza geométricamente por su longitud (L), por su forma y por su diámetro o diámetro equivalente (D_e).

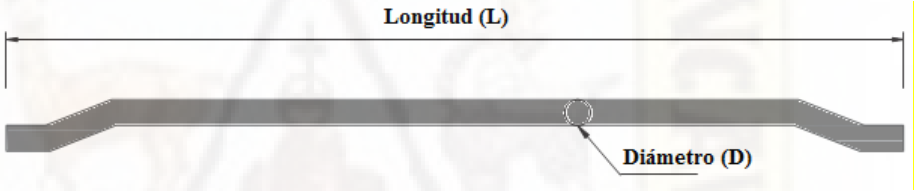


Figura 2. Fibra de acero con anclaje en las extremidades
Fuente: Manual tecnico (MACCAFERRI, 2007).

Las fibras de acero tienen diversas formas: Rectilíneas, con ganchos, onduladas, extremidades achatadas, etc. Así también diferentes secciones como: circulares, cuadradas, rectangulares, irregulares, triangular, hexagonal, etc.

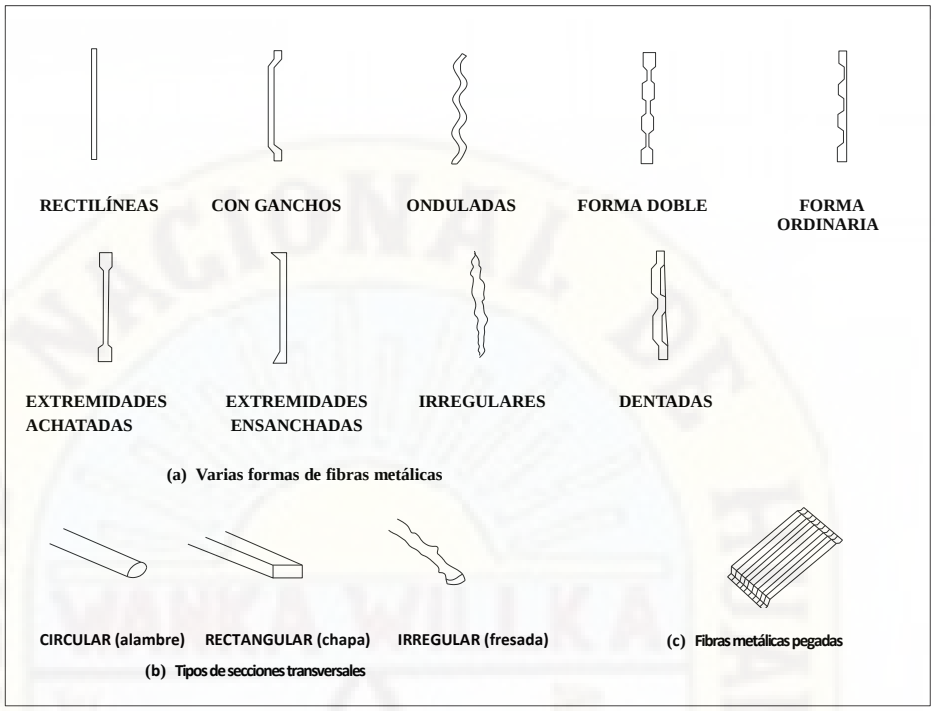


Figura 3. Fibra de acero de diferentes formas.
Fuente: Manual tecnico (MACCAFERRI, 2007).

Los volúmenes de fibras de acero usados en concreto normalmente varían del 0.25% al 2%. Volúmenes mayores que 2% generalmente reducen la trabajabilidad y la dispersión de las fibras y requieren un diseño especial de las mezclas o técnicas especiales de colado. La presencia de las fibras afecta ligeramente la resistencia a compresión. La adición del 1.5% (en volumen) de fibras de acero puede aumentar la resistencia a tracción directa hasta 40% y la resistencia a la flexión hasta 150%. (Kosmatka, et al., 2004, pág. 154)

Las fibras de acero se usan comúnmente en pavimentos de aeropuertos y en las capas de revestimiento de las pistas. También se usan en los tableros de puentes (cubiertas para puentes), pisos industriales y pavimentos de autopistas. El concreto con fibras de acero en estructuras sometidas al agua en alta velocidad han mostrado que pueden durar hasta tres veces más que las alternativas en concreto convencional. El concreto reforzado con fibras de acero se emplea en muchas aplicaciones de concreto prefabricado donde sea necesario un aumento de la resistencia al impacto o de la tenacidad. En los tanques sépticos,

las fibras de acero sustituyen el refuerzo convencional. (Kosmatka, et al., 2004, pág. 154)

Asimismo la Instrucción Española del Hormigón Estructural (EHE-08, 2008) menciona: "La forma de la fibra tiene una incidencia importante en las características adherentes de la fibra con el hormigón y puede ser muy variada: rectas, onduladas, corrugadas, conformadas en extremos de distintas formas, etc" (p. 508). La longitud de la fibra es recomendable que sea dos veces el tamaño del árido mayor como mínimo.

- **Fibras de acero Wirand® de Maccaferri FF1.**

  Características técnicas

  Las fibras de acero para refuerzo de concreto Wirand son fabricadas "a partir de acero de bajo contenido de carbono, trefilado a frío. Las fibras de acero Wirand cuando están mezcladas con el concreto, actúan como una armadura tridimensional que redistribuye las tensiones aplicadas en su elemento estructural aumentando su resistencia" (MACCAFERRI, 2016)

Tabla 3:
Propiedades físicas de las fibras de acero Wirand de Maccaferri FF1.

Propiedades físicas	Unidad	FF1
Relación L/d (largo / diámetro)	*	50
Tolerancia del valor individual de la relación L/d	%	15
Tolerancia del valor medio de la relación L/d	%	7.5
Diámetro	mm	1
Tolerancia del valor individual del diámetro	%	10
Tolerancia del valor medio del diámetro	%	5
Largo	mm	50
Tolerancia del valor individual del largo	%	5
Tolerancia del valor medio del largo	%	5

Fuente: Manual técnico (MACCAFERRI, 2007)

Tabla 4:
Propiedades mecánicas de las fibras de acero Wirand de Maccaferri FF1.

Propiedades mecánicas	Unidad	FF1
Resistencia á tracción del acero	MPa	>1100
Deformación en la ruptura	%	<4
Módulo elástico	MPa	210000

Fuente: Manual técnico (MACCAFERRI, 2007)

2.2.4.2. Aporte de las fibras de acero al concreto

El aporte de las fibras de acero al concreto son las siguientes:

- mejora significativamente la ductilidad del concreto,
- aumento de la tenacidad,
- aumento de la tracción,
- resistencia al impacto y choque,
- mejora la resistencia a flexión,
- reducción de la deformación bajo cargas permanentes,
- control de la fisuración,
- aumento de la durabilidad del concreto. (Ortiz, 2015, pág. 31)

2.2.4.3. Aplicaciones del concreto con fibras de acero

Existe una amplia gama del uso que se lo da al concreto reforzado con fibras de acero, entre ellas mencionamos los más importantes:

- pisos y pavimentos rígidos,
- concreto proyectado,
- elementos prefabricados,
- concretos resistentes a explosiones,
- concreto de ultra-alta resistencia.

2.2.5. Redes neuronales artificiales

Para Basogain (2008), sostiene que:

> Las Redes Neuronales artificiales, ANN (Artificial Neural Networks) están inspiradas en las redes neuronales biológicas del cerebro humano. Están constituidas por elementos que se comportan de forma similar a la neurona biológica en sus funciones más comunes. Estos elementos están organizados de una forma parecida a la que presenta el cerebro humano. Las ANN al margen de "parecerse" al cerebro presentan una serie de características propias del cerebro. Por ejemplo las ANN aprenden de la experiencia, generalizan de ejemplos previos a ejemplos nuevos y abstraen las características principales de una serie de datos. (pág. 2)

Todavía cabe señalar que Basogain (2008) añadio:

> Las técnicas tradicionales de programación utilizadas para la solución de un problema requieren la creación de un algoritmo. Un algoritmo consiste en una secuencia de instrucciones que indica el modo en el que debe

proceder el sistema basado en un ordenador para lograr el fin perseguido que es la resolución del problema. Las ANN, a diferencia de los algoritmos que son instrucciones previamente programadas, deben ser previamente entrenadas. Esto significa que a la red se le muestra en su capa de entrada unos ejemplos y ella misma se ajusta en función de alguna regla de aprendizaje. (pp.. 4-5)

2.2.5.1. Características

Las características de las RNA según Hilera González y Martínez Hernando (Citado por Rivas y Mazón, 2018),"es que se las entienden como un esquema computacional distribuido que básicamente se asimila a una estructura del sistema nervioso de los seres humanos" (pág. 15).

Las características fundamentales para Gestal, 2014 (Citado por Rivas y Mazón, 2018, pág. 15) que considera en una red neuronal son:

Topología de red: "Permite determinar la capacidad representativa de como una cantidad de neuronas están distribuidos en capas y distribuidas entre sí. En donde la topología de red se basa en el problema a resolver" (Rivas y Mazón, 2018, pág. 15).

Regla de aprendizaje: "Una red neuronal es una integración de diversos sistemas de aprendizaje, es por ello que tienen la capacidad de aprender a través de un entrenamiento previo" (pág. 15).

Tipo de entrenamiento: Una RNA presenta dos tipos de entrenamiento:

"Una que durante la etapa de aprendizaje la red se entrena para que los pesos sinápticos se adecúen a la red" (pág. 15).

"La segunda es una etapa de ejecución en donde la red ya pasa ser operativa cuya red toma un valor de funcionamiento real" (pág.. 15).

2.2.5.2. Modelo estándar de neurona artificial

Martín y Sanz (2011) menciona "considerando que la regla de propagación es la suma ponderada y que la función de salida es la identidad" (pág. 18).

La neurona estándar consiste en:

- un conjunto de entradas $x_j(t)$ y pesos sinápticos $w_{ij,}$

- una regla de propagación $h_i(t) = \sigma\left(w_{ij}, x_j(t)\right)$; $h_i(t) = \sum w_{ij}, x_j$ es la más común,
- una función de activación $y_i(t) = f_i(h_i(t))$, que representa simultáneamente la salida de la neurona y su estado de activación.

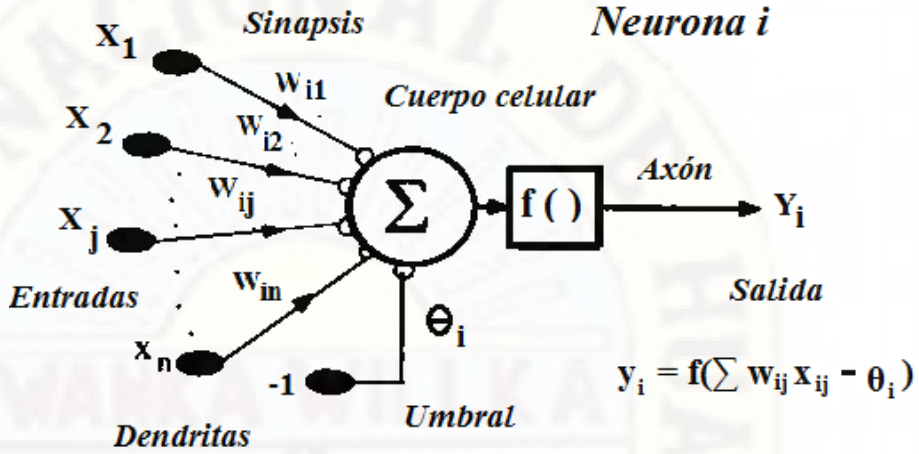


Figura 4. Modelo de neurona estándar.
Fuente: Martín y Sanz, 2011.

Con frecuencia se añade al conjunto de pesos de la neurona un parámetro adicional θ_i, que denominaremos umbral, que se resta del potencial postsináptico, por lo que el argumento de la función de activación queda $\sum w_{ij}, x_j - \theta_i$ lo que representa añadir un grado de libertad adicional a la neurona. Veremos que en el caso de nodos de respuesta todo-nada, este parámetro representará el umbral de disparo de la neurona, es decir, el nivel mínimo que debe alcanzar el potencial postsináptico (o potencial de membrana) para que la neurona se dispare o active. (Martín y Sanz, 2011, pág. 18)

En conclusión, el modelo de neurona que denominaremos estándar queda

$$y_i(t) = f_i\left(\sum_j w_{ij}, x_j - \theta_i\right)$$

Ahora bien, si hacemos que los índices i y j comiencen en 0, podemos definir $w_{ij} = \theta_i$ y $x_0 = -1$ (constante), con lo que el potencial postsináptico (potencial local, o de membrana) se obtiene realizando la suma desde $j = 0$

$$y_i(t) = f_i\left(\sum_{j=0}^{n} w_{ij}, x_j\right)$$

Definida de esta manera la neurona estándar, basta con establecer la forma de la función de activación para determinarla por completo. (Martín y Sanz, 2011, pp. 18-19)

2.2.5.3. El perceptrón multicapa

Isasi y Galván (2004), sostiene que: "El perceptrón multicapa o red multicapa con conexiones hacia adelante, el perceptrón multicapa es una generalización del perceptrón simple, y surgió como consecuencia de las limitaciones de dicha arquitectura en lo referente al problema de la separabilidad no lineal" (pág. 45).

Diferentes autores Cybenko y Hornik et al. (como se citó en Isasi y Galván 2004, pág. 45) han demostrado independientemente que el **perceptrón** multicapa es un aproximador universal, en el sentido de que cualquier función continua sobre un compacto de R^n puede aproximarse con un **perceptrón** multicapa, con al menos una capa oculta de neuronas. Este resultado sitúa al perceptrón multicapa como una nueva clase de funciones como pueden ser también los polinomios, las funciones trigonométricas, los splines, etc, para aproximar o interpolar relaciones no lineales entre datos de entrada y salida. (Isasi y Galván,2004, pág. 46)

En el perceptrón multicapa el algoritmo para el entrenamiento es el algoritmo aprendizaje por retropagación de errores o backpropagation (BP) que es la solución al problema de entrenar los nodos de las capas ocultas de las arquitecturas multicapa". Además "es una regla de aprendizaje que se puede aplicar en modelos de redes con más de dos capas de células" (Ramón y González, 1995, pág. 131).

"Una característica importante de este algoritmo es la representación interna del conocimiento que es capaz de organizar en la capa intermedia de las células para conseguir cualquier correspondencia entre la entrada y la salida de la red" (Ramón y González, 1995).

Arquitectura del perceptrón multicapa

Isasi y Galván (2004), afirma que: "La arquitectura del perceptrón multicapa se caracteriza porque tiene sus neuronas agrupadas en capas de diferentes niveles. Cada una de las capas está formada por un conjunto de neuronas" (pág. 46).

Existen tres tiposde capas: la capa de entrada, las capas ocultas y la capa de salida.

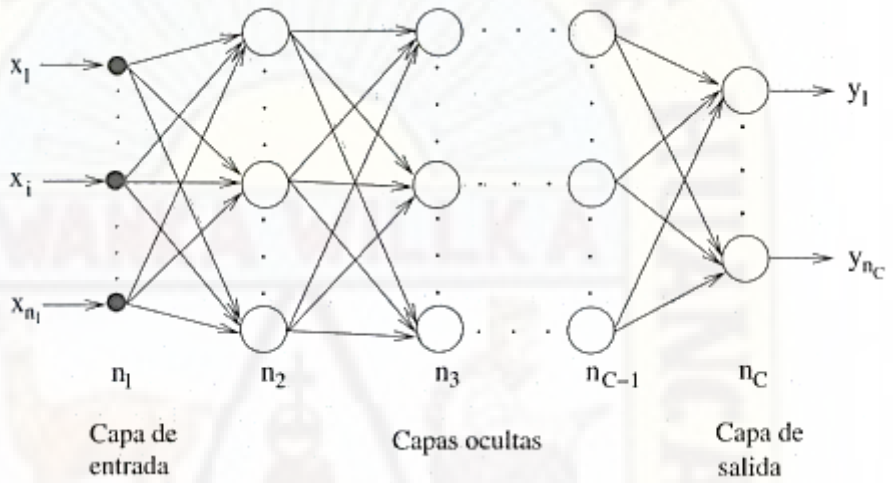


Figura 5. Arquitectura del perceptrón multicapa
Fuente: Isasi y Galván, 2004.

2.2.5.4. Arquitectura de la redes neuronales artificiales

Según Caicedo y López (2009), sostiene que:

> La arquitectura de una red neuronal artificial es la forma como se organizan las neuronas en su interior y está estrechamente ligada al algoritmo de aprendizaje usado para entrenar la red. Dependiendo del número de capas, definimos las redes como monocapa y multicapa; y si tomamos como elemento de clasificación la forma como fluye la información, definimos las redes como Feedforward y Recurrentes. En este libro conservamos el Anglicismo Feedforward, para las redes cuya información fluye en un solo sentido desde el nivel de entrada hacia la capa de salida. (pág. 25)

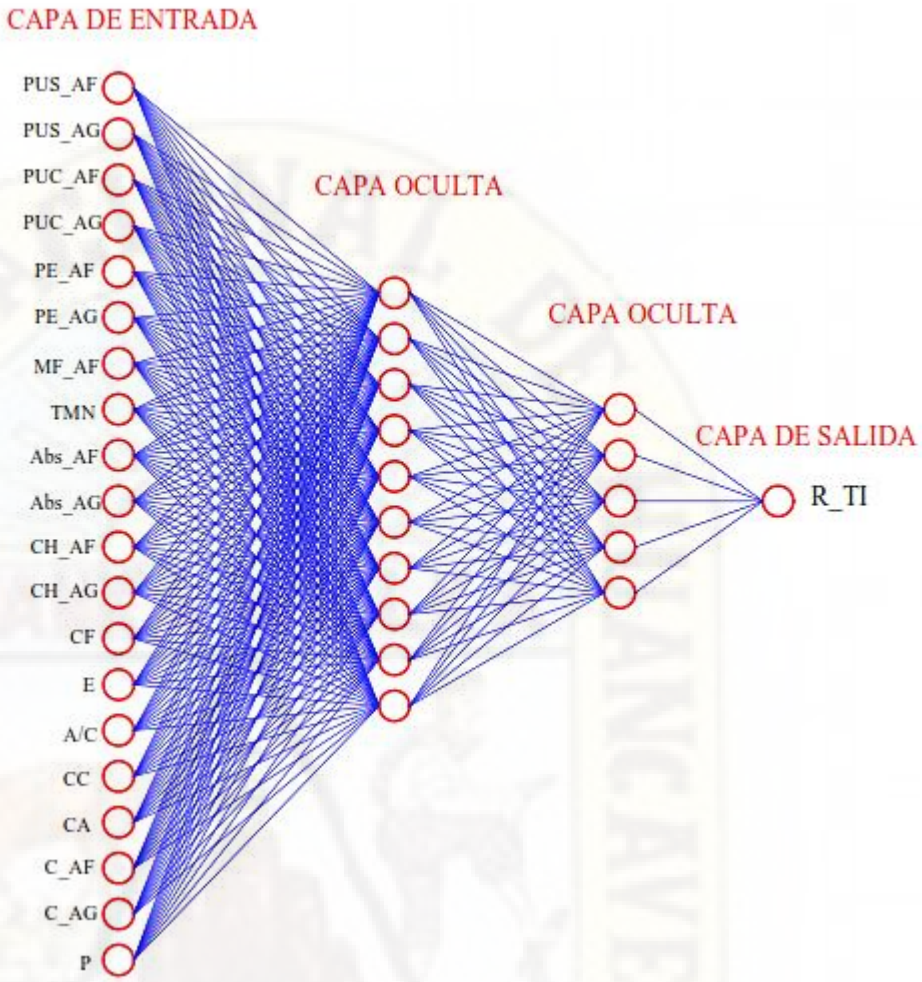


Figura 6. Esquema de la red neural 11 [20-10-5-1]
Fuente: elaboración propia.

Según Soria y Blanco, 2007 (como se citó en Rivas y Mazón, 2018), sostiene que: "Las redes neuronales se pueden estructurar de dos formas: según el número de capas, el tipo de conexión y según el grado de conexión" (pág. 18).

Según el número de capas

- **Redes neuronales monocapas:** Es la más sencilla forma de una red neuronal , "consta de una sola capa cuya función es proyectar la capa de entrada a una capa de salida en la cual se realizan los cálculos necesarios. Se utiliza generalmente para eliminar distorsiones de señal" (Rivas y Mazón, 2018, pág. 19).

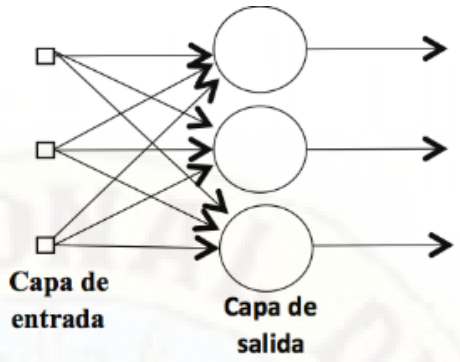


Figura 7. Red neural monocapa.
Fuente: Soria y Blanco, 2007.

- **Redes neuronales multicapa:** "Es una generalización de la anterior existiendo un conjunto de capas intermedias entre la entrada y la salida (capas ocultas). Este tipo de red puede estar total o parcialmente conectada " (Soria y Blanco, 2007, pág. 30).

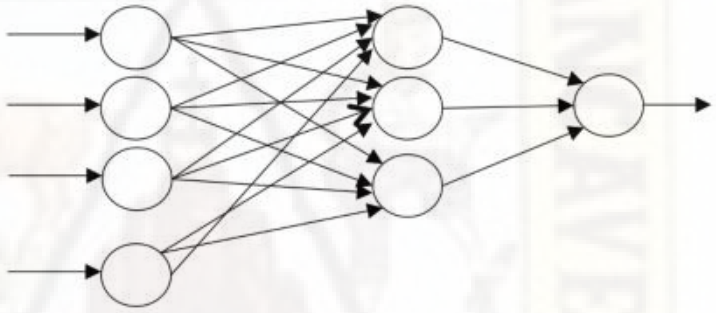


Figura 8. Red neural multicapa.
Fuente: Soria y Blanco, 2007.

Según el tipo de conexiones

- **Redes neuronales no recurrentes: "**En este tipo de redes no existe retroalimentación de ningún tipo dado que se mueven únicamente hacia adelante" (Rivas y Mazón, 2018, pág. 19).
- **Redes neuronales recurrentes: "**Las redes neuronales recurrentes permiten retroalimentación mediante el uso de lazos, los mismos que pueden ser neuronas de capas distintas o de la misma, tal como se muestra en la figura" (Rivas y Mazón, 2018, pág. 19).

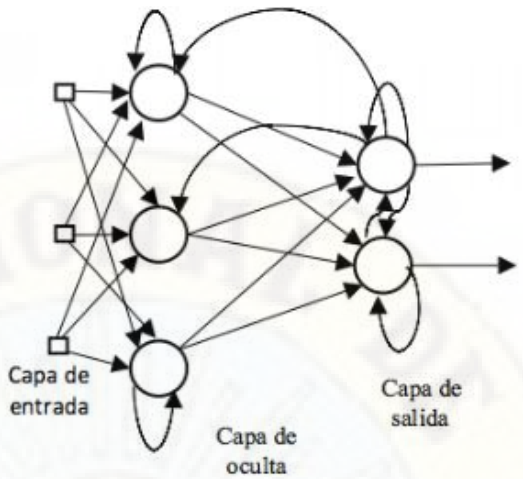


Figura 9. Red neural recurrente.
Fuente: Soria y Blanco, 2007.

Según el grado de conexión

- **Redes neuronales totalmente conectadas: "**En este tipo de redes se conectan todas las neuronas con las capas anteriores o siguientes, constituyendo de esta manera redes concurrentes o no concurrentes" (Soria y Blanco, 2007, pág. 31).
- **Redes parcialmente conectadas: "**Son aquellas redes donde no se llega a una conexión total, sino parcial únicamente, en paralelo o de manera jerárquica" (Soria y Blanco, 2007, pág. 31).
- **Redes unidireccionales o de propagación hacia adelante (feedforward):** "En las que ninguna salida neuronal es entrada de unidades de la misma capa o de capas precedentes. La información circula en un único sentido, desde las neuronas de entrada hacia las neuronas de salida de la red." (Flores y Fernández, 2008, pág. 29).
- **Redes de propagación hacia atrás (feedback):** "En esta red las salidas de las neuronas pueden servir de entradas a unidades del mismo nivel (conexiones laterales) o de niveles previos. Las redes de propagación hacia atrás que presentan lazos cerrados se denominan sistemas recurrentes" (Flores y Fernández, 2008, pág. 29).

2.3.Hipótesis

2.3.1 Hipótesis general

- Las fibras de acero influyen significativamente en la resistencia a tracción indirecta del concreto mediante redes neuronales artificiales.

2.3.2 Hipótesis específicos

- La adición de 30 kg/m^3 de fibras de acero influyen significativamente en la resistencia a tracción indirecta del concreto mediante redes neuronales artificiales.
- La adición de 50 kg/m^3 de fibras de acero influyen significativamente en la resistencia a tracción indirecta del concreto mediante redes neuronales artificiales.
- La adición de 70 kg/m^3 de fibras de acero influyen significativamente en la resistencia a tracción indirecta del concreto mediante redes neuronales artificiales.

2.4.Definición de términos

2.4.1. Agregado global: "Material compuesto de agregado fino y agregado grueso cuya combinación produciría un concreto de máxima compacidad" (NTP 400.037, 2014).

2.4.2. Arena: "Es el agregado fino proveniente de la desintegración natural de las rocas" (NTP 400.037, 2014).

2.4.3. Calor de hidratación:

Es el calor expresado en cal/g, desarrollado por la reacción química de hidratación de un cemento y que comienza con la fragua inicial. Cementos con calor de hidratación elevados manifiestan fenómenos de variaciones en el volumen final del concreto, sobre todo en obras que requieren vaciados masivos. (Rivva, 2000, pág. 125)

2.4.4. Fibra: "Filamentos alargadas y delgados en forma de redes o paquetes de redes de un material natural o fabricado que puede ser incorporado en la mezcla del concreto fresco" (NTP 339.204, 2007).

2.4.5. Grava: "Es el agregado grueso, proveniente de la desintegración natural de materiales pétreos, encontrándosele corrientemente en canteras y lechos de ríos, depositado en forma natural" (NTP 400.037, 2014).

2.4.6. Homogeneidad de agregados: "Una mezcla de agregados es homogénea cuando cumple con los límites granulométricos establecidos en cada porción de la misma" (NTP 400.037, 2014).

2.4.7. Piedra triturada o chancada: "Se denomina así, al agregado grueso obtenido por trituración artificial o mecánica de rocas o gravas, escorias u otros" (NTP 400.037, 2014).

2.4.8. Tamaño máximo nominal: "Es el que corresponde al menor tamiz de la serie utilizada que produce el primer retenido entre 5 % y 10 %" (NTP 400.037, 2014).

2.4.9. Tamaño máximo: "Es el que corresponde al menor tamiz por el que pasa toda la muestra de agregado grueso" (NTP 400.037, 2014).

2.4.10. Tracción: En la ingeniería se entiende por tracción a esfuerzos internos a los que está sometido un cuerpo por la aplicación de dos fuerzas que actúan opuestamente.

2.5. Definición operativa de variables

Tabla 5:

Definición operativa de variables.

Variable	Definición conceptual	Dimensión	Indicador
VI: Fibras de acero	Las fibras de acero son pequeños pedazos discontinuos de acero con un aspecto o esbeltez (relación entre longitud y diámetro) que varía entre 20 y 100 y con muchas secciones transversales.	Adición de 30 kg/m^3, 50 kg/m^3 y 70 kg/m^3 de fibras de acero.	Cantidad
			Diámetro
			Longitud
			Resistencia
VD: Resistencia a tracción indirecta del concreto	Por su naturaleza, el concreto es bastante débil a esfuerzos de tracción, esta propiedad conduce generalmente a que no se tenga en cuenta en el diseño de estructuras normales.	Resistencia a tracción de f'c =210 kg/cm^2	Resistencia a la tracción indirecta

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.Tipo y nivel de investigación

3.1.1 Tipo de investigación

Es aplicativa según Carrasco (2005), "Esta investigación se distingue por tener propósitos prácticos inmediatos bien definido, es decir, se investiga para actuar, transformar, modificar o producir cambios en un determinado sector de la realidad" (pág. 143). En la presente investigación es aplicada porque se reforzará al concreto convencional con fibra de acero para mejorar sus propiedades.

3.1.2 Nivel de investigación

El nivel de investigación es explicativa como Arias (2012), menciona "La investigación explicativa se encarga de buscar el porqué de los hechos mediante el establecimiento de relaciones causa-efecto" (pág. 26). La investigación es explicativa ya que se determinará la influencia de la fibra de acero en la resistencia a tracción indirecta del concreto.

3.2.Método de investigación

El método general es el científico como Sánchez, H., Reyes y Mejía (2018) refiere:

> Método de conocimiento que integra la inducción y la deducción, con la finalidad de construir conocimiento teórico y aplicado. El método científico consta de cuatro etapas fundamentales: planteamiento del problema, formulación de posibles hipótesis, puestas a prueba de las hipótesis y resultados y derivación de las consecuencias. (pág. 89)

Y el método particular es experimental "es el procedimiento que adopta el investigador cuando quiere tener un control riguroso de las variables de estudio. Es causal o explicativo y puede darse en diseños experimentales, pre

experimentales, cuasi o experimentales" (pág. 90). Asimismo, se utilizará la estadística descriptiva e inferencial.

3.3.Diseño de investigación

Diseño general: Cuasi Experimental, Carrasco(2005) define "A aquellos que no asignan al azar los sujetos que forman parte del grupo de control y experimental, ni son emparejados, puesto que los grupos de trabajo ya están formados; es decir, ya existen previamente al experimento" (pág. 70).

Diseño específico: Cuasi Experimental con dos grupos no equivalentes, con pre test y post test.

GE: 01 **X** 02

GC: 03 04

Donde:

G.E. Grupo experimental,

G.C. Grupo de control,

01 y **03** Pre test a G.E. y G.C,

02 y **04** Post test a G.E. y G.C,

X: Manipulación de la Variable Independiente (Fibra de acero).

3.4.Población y muestra

3.4.1 Población

Córdova (2003) menciona: "se denomina población, a un conjunto de elementos (que consiste de personas, objetos, etc.), que contienen una o más características observables de naturaleza cualitativa o cuantitativa que se pueden medir en ellos" (pág. 2). La población estará conformada por 56 especímenes de concreto f'c = 210 Kg/cm^2: con fibra de acero 42 especímenes y concreto patrón 14 especímenes, con tiempo de curado de 28 días.

3.4.2 Muestra

Según Hernández, Fernández, y Baptista (2014), afirma "La muestra es un subgrupo de la población de interés sobre el cual se recolectarán datos, y que tiene que definirse y delimitarse de antemano con precisión, además de que debe ser representativo de la población" (pág. 173). El presente proyecto de tesis tiene como muestra probetas de concreto f'c = 210 Kg/cm^2 con fibra de

acero y sin fibra de acero (concreto patrón), con tiempo de curado a los 28 días, con las siguientes características:

- **Concreto con fibra de acero**

Tabla 6:
Muestra con fibras de acero.

Cantidad de fibra de acero (Kg/m^3).	Tipo de ensayo	Tiempo de curado	Número de repeticiones	Total de tratamientos
30	Tracción indirecta	28 días	14	
50	Tracción indirecta	28 días	14	42
70	Tracción indirecta	28 días	14	

Fuente: elaboración propia.

- **Concreto sin fibra de acero (concreto patrón)**

Tabla 7:
Muestra concreto sin fibras de acero (Concreto patrón).

Tipo de ensayo	Tiempo de curado	Número de repeticiones
Tracción indirecta	28 días	14

Fuente: elaboración propia.

Total de muestras: 56 especímenes.

3.4.3 Muestreo

Para seleccionar la muestra se utiliza una técnica o procedimiento denominado muestreo, lo cual es un "instrumento de gran validez, en la investigación, con el cual el investigador selecciona las unidades representativas a partir de las cuales obtendrá los datos que le permitirán extraer inferencias acerca de la población sobre la cual se investiga" (Tamayo y Tamayo, 2003, pág. 177). De tipo muestreo no probabilístico "este tipo de muestras, no todos los elementos de la población tienen la probabilidad de ser elegidos para formar parte de la muestra, por ello no son tan representativos" (Carrasco, 2005, pág. 243). De carácter intencional "es aquélla que el investigador selecciona según su propio criterio, sin ninguna regla matemática o estadística" (pág. 243). En el presente proyecto de tesis se desarrollará un muestreo no probabilístico de carácter intencionada, porque se selecciona a criterio.

3.5.Técnica e instrumentos de recolección de datos

3.5.1 Técnica

Arias (2012), sostiene que la técnica de investigación al "procedimiento o forma particular de obtener datos o información" (pág. 67). Para recolectar los datos en esta tesis se utilizaron las siguientes técnicas de recolección de datos:

- **Observación:** Carrasco (2005), define "Como el proceso sistemático de obtención, recopilación y registro de datos empíricos de un objeto, un suceso, un acontecimiento o conducta humana con el propósito de procesarlo y convertirlo en información" (pág. 182).
- **Revisión bibliográfica:** "Es sinónimo de revisión de la literatura. Esta tarea se realiza para conocer qué es lo que han reportado otros investigadores. Permite ponerse al día sobre los alcances que se han logrado sobre un campo específico del conocimiento reportado" (Sánchez, H. et al., 2018, pág. 114).
- **Fichaje:** Carrasco (2005), argumenta que "consiste en registrar o consignar información significativa y de interés para el investigador, por escrito, en tarjetas de diferentes tamaños llamadas fichas" (pág. 280).
- **Pruebas y ensayos de laboratorio**

3.5.2 Instrumentos

Para Carrasco (2005), define los instrumentos de investigación como:

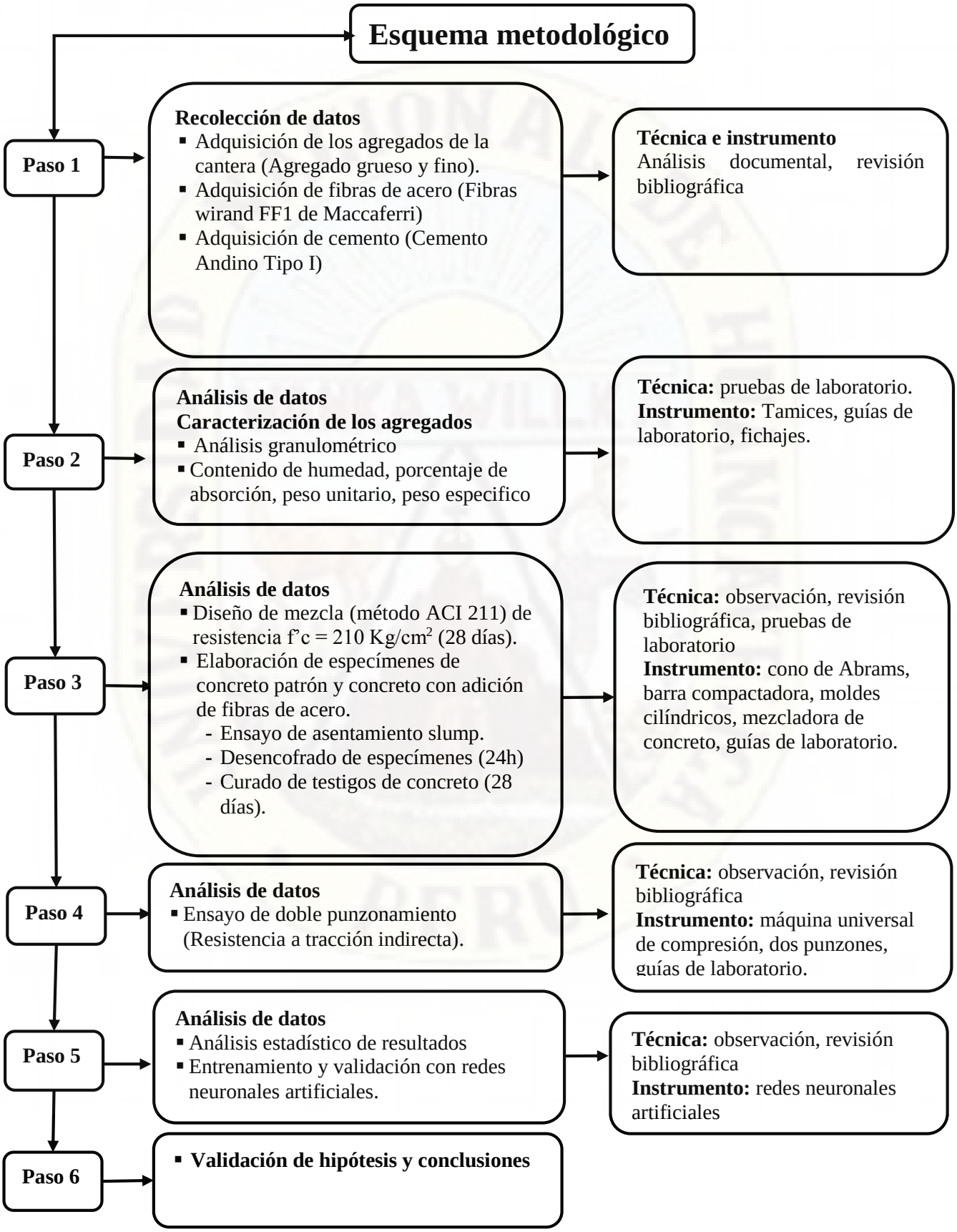
> Reactivos, estímulos, conjunto de preguntas o ítemes debidamente organizados e impresos, módulos o cualquier forma organizada o prevista que permita obtener y registrar respuestas, opiniones, actitudes manifiestas, características diversas de las personas o elementos que son materia del estudio de investigación, en situaciones de control y planificadas por el investigador. (pág. 334)

Los instrumentos de investigación empleadas en la presente investigación son: Redes neuronales artificiales (RNA), equipos de laboratorio, ficha de ensayos, cámara fotográfica, cuaderno de notas.

3.6. Técnica y procesamiento de datos

Para el análisis e interpretación de datos se desarrollará a través de la aplicación de la estadística descriptiva y estadística inferencial; como también la utilización de programas SAS Studio Edition University, MS Excel y Matlab.

3.7.Esquema metodológico



CAPÍTULO IV

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Análisis de información

4.1.1 Caracterización de los agregados

Los agregados que se utilizaron, provienen de la cantera del río Mantaro de la localidad de Huancayo, tanto el agregado fino (arena gruesa) como el agregado grueso (piedra chancada). En seguida se muestran los ensayos realizados de los agregados para determinar sus propiedades físicas.

4.1.1.1 Análisis granulométrico del agregado fino y grueso

El ensayo de granulometría del agregado fino y grueso se realizó conforme a la guía de la norma **ASTM C136 / NTP 400.012 y NTP 400.037.**

Tabla 8:
Granulometría del agregado fino.

Tamiz	Peso retenido	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)	Límites granulométricos (%)
3/8"	0.00	0.00	0.00	100	100-100
N° 4	95.15	4.10	4.10	95.90	95-100
N° 8	325.65	14.03	18.13	81.87	80-100
N° 16	399.00	17.19	35.32	64.68	50-85
N° 30	471.20	20.30	55.62	44.38	25-60
N° 50	631.90	27.23	82.85	17.15	10-30
N° 100	267.50	11.53	94.37	5.63	2-10
N° 200	64.10	2.76	97.13	2.87	0-0
Fondo	66.5	2.87	100.00	0.00	

Fuente: Propia.

La tabla 8 muestra el análisis granulométrico del agregado fino, cuyo módulo de fineza es de 2.9, cuyo valor está dentro de los rangos permitidos por la norma técnica, donde indica que el módulo de fineza no será menor de 2.3 ni mayor de 3.1.

Tabla 9:

Límites de granulometría del agregado fino.

Tamiz	Abertura (mm)	Mínimo (%)	Máximo (%)
3/8"	9.50	100	100
N° 4	4.75	95	100
N° 8	2.36	80	100
N° 16	1.18	50	85
N° 30	0.60	25	60
N° 50	0.30	10	30
N° 100	0.15	2	10

Fuente: NTP 400.037.

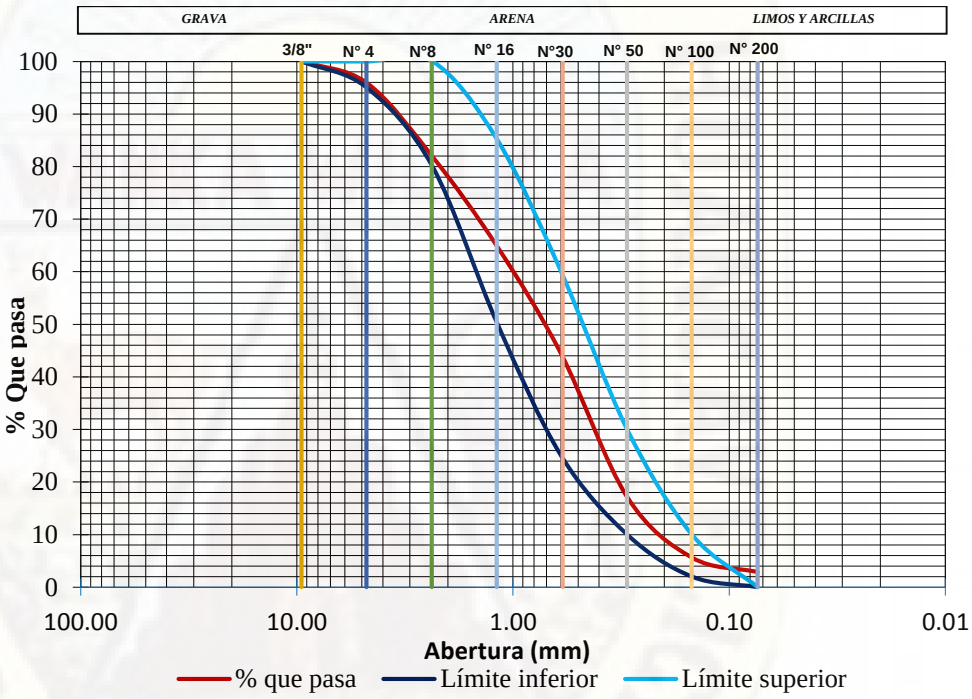


Figura 10. Curva granulométrica del agregado fino.
Fuente: Propia.

Podemos observar en la figura 10, la curva granulométrica del agregado fino que está dentro de los límites granulométricos establecidos por la norma técnica.

Tabla 10:

Granulometría del agregado grueso.

Tamiz	Peso retenido	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)	Huso granulométrico 6 (%)
2 1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00	
2"	0.00	0.00	0.00	100.00	
1 1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00	
1 "	0.00	0.00	0.00	100.00	**100 - 100**
3/4"	175.70	2.97	2.97	97.03	**90 - 100**
1/2"	3247.30	54.94	57.91	42.09	**20 - 55**
3/8"	1770.40	29.95	87.86	12.14	**0 - 15**
N° 4	638.40	10.80	98.66	1.34	**0 - 5**
Fondo	79.20	1.34	100.00	0.00	

Fuente: propia.

La tabla 10 muestra el análisis granulométrico del agregado grueso, cuyo Tamaño Máximo Nominal (TMN) es de 3/4", clasifica como un agregado grueso de huso granulométrico 6.

Tabla 11:

Límites de granulometría del agregado grueso.

Tamiz	Abertura (mm)	Mínimo (%)	Máximo (%)
1 "	25.4	100	100
3/4"	19.05	90	100
1/2"	12.5	20	55
3/8"	9.5	0	15
N° 4	4.75	0	5

Fuente: NTP 400.037.

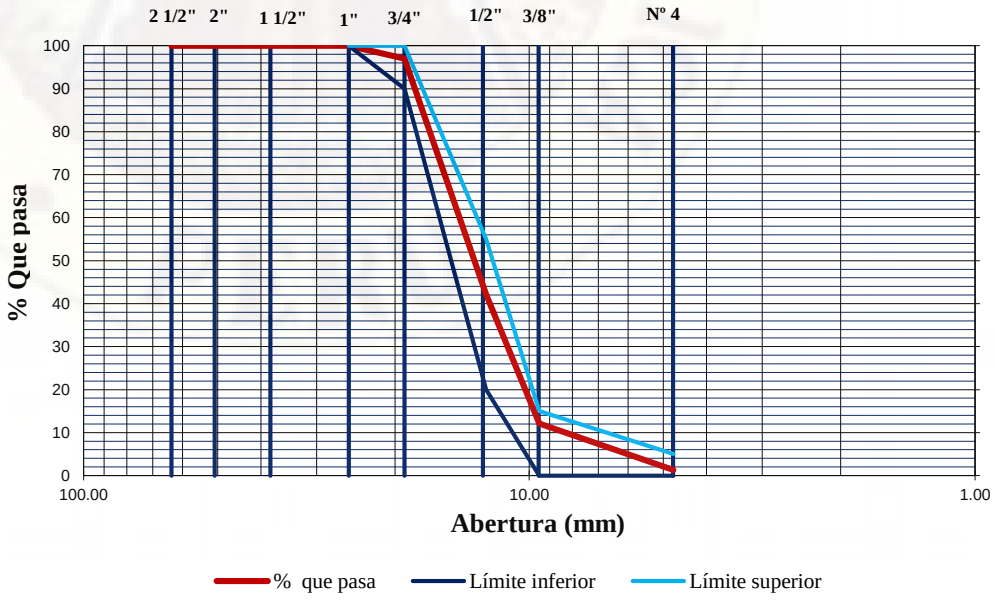


Figura 11. Curva granulométrica del agregado grueso.
Fuente: propia

La figura 11, nos muestra la curva granulométrica del agregado grueso, donde se visualiza que dicha curva está dentro de los usos granulométricos como la norma técnica lo indica.

4.1.1.2 Peso específico y porcentaje de absorción del agregado fino y grueso.

Se ensayó el peso específico del agregado fino y grueso, de acuerdo a la norma **ASTM C-127 / NPT 400.021**

Tabla 12:

Peso específico y porcentaje de absorción del agregado fino.

Descripción	Unidad	Ensayo		Promedio
		Nº1	Nº2	
Peso de arena superficialmente seca (S)	gr	500.57	500.62	
Peso de la arena superficialmente seca+fiola+agua	gr	951.41	969.38	
Peso de fiola	gr	142.98	161.82	
Peso de agua (W)	gr	307.86	306.94	
Peso de la arena seca al horno (A)	gr	487.59	488.88	
Volumen fiola (V)	cm^3	500	500	
Resultados				
Peso específico de masa P.E.M. = A/(V-W)	gr/cm^3	**2.538**	**2.532**	**2.535**
Peso específico de masa saturado superficialmente seco P.E.M.S.S.S. = S/(V-W)	gr/cm^3	2.605	2.593	2.599
Peso específico aparente P.E.A = A/((V-W)-(S-A))	gr/cm^3	2.722	2.696	2.709
Porcentaje de absorción Absf=(S-A)x100/A	%	**2.662**	**2.401**	**2.532**

Fuente: Propia

Tabla 13:

Peso específico y porcentaje de absorción del agregado grueso.

Descripción	Unidad	Ensayo		Promedio
		Nº1	Nº2	
Peso de la muestra secada al horno (A)	gr	3329.5	3201.4	
Peso de la muestra saturada con superficie seca (B)	gr	3425.3	3292.1	
Peso de la muestra saturada dentro del agua + peso de la canastilla	gr	2942.9	2853.3	
Peso de la canastilla sumergida	gr	825.2	825.2	
Peso de la muestra saturada dentro del agua (C)	gr	2117.7	2028.1	
Resultados				
Peso específico de masa [P.E.M. = A / B- C]	gr/cm^3	**2.546**	**2.533**	**2.540**
Peso específico de masa saturado superficialmente seco P.E.M.S.S.S. = B/(B - C)	gr/cm^3	2.620	2.605	2.612
Peso específico aparente P.E.A. = A/ (A-C)	gr/cm^3	2.748	2.729	2.738
Porcentaje de absorción Abs= (B - A) / A * 100	%	**2.877**	**2.834**	**2.855**

Fuente: Propia

4.1.1.3 Peso unitario compactado y suelto del agregado fino y grueso

Se realizó de acuerdo a lo establecido por la norma **ASTM C-29 / NPT 400.017.**

Tabla 14:

Peso unitario compactado (P.U.C) del agregado fino.

Descripción	Unidad	Ensayo Nº1	Ensayo Nº2
Peso de la Muestra + Recipiente	kg	19.935	20.025
Peso del Recipiente	kg	10.160	10.160
Peso de la Muestra	kg	9.775	9.865
Volumen del Recipiente	m^3	0.01	0.01
P.U.C.Seco	kg/m^3	1843.839	1860.816
Promedio P.U.C. Seco	**kg/m^3**	**1852.328**	

Fuente: Propia

Tabla 15:

Peso unitario suelto (P.U.S) del agregado fino.

Descripción	Unidad	Ensayo Nº1	Ensayo Nº2
Peso de la Muestra + Recipiente	kg	18.855	18.900
Peso del Recipiente	kg	10.160	10.160
Peso de la Muestra	kg	8.695	8.740
Volumen del Recipiente	m3	0.01	0.01
P.U.S.Seco	kg/m^3	1640.121	1648.609
Promedio P.U.S. Seco	kg/m^3	**1644.365**	

Fuente: Propia.

Tabla 16:

Peso unitario compactado (P.U.C) del agregado grueso.

Descripción	Unidad	Ensayo Nº1	Ensayo Nº2
Peso de la Muestra + Recipiente	kg	17.895	17.990
Peso del Recipiente	kg	10.160	10.160
Peso de la Muestra	kg	7.735	7.830
Volumen del Recipiente	m^3	0.01	0.01
P.U.C.Seco	kg/m^3	1459.038	1476.958
Promedio P.U.C. Seco	kg/m^3	1467.998	

Fuente: Propia.

Tabla 17:

Peso unitario suelto (P.U.S) del agregado grueso.

Descripción	Unidad	Ensayo Nº1	Ensayo Nº2
Peso de la Muestra + Recipiente	kg	17.255	17.340
Peso del Recipiente	kg	10.160	10.160
Peso de la Muestra	kg	7.095	7.180
Volumen del Recipiente	m^3	0.005	0.005
P.U.C.Seco	kg/m^3	1338.316	1354.350
Promedio P.U.C. Seco	**kg/m^3**	**1346.333**	

Fuente: Propia

4.1.1.4 Contenido de humedad del agregado fino y grueso

Se determinó el contenido de humedad del agregado fino y grueso según las normas **NTP 400.185 y ASTM C566.**

Tabla 18:

Contenido de humedad del agregado fino.

Descripción	Unidad	Ensayo	
		N°01	N°02
Peso del recipiente	gr	188.770	83.860
Peso de la muestra húmeda+ recipiente	gr	2595.950	1084.500
Peso de la muestra seca + recipiente	gr	2424.620	1010.190
Contenido de agua	gr	171.330	74.310
Peso de la muestra seca	gr	2235.850	926.330
Contenido de humedad	%	7.663	8.022
Promedio	%	**7.842**	

Fuente: Propia

Tabla 19:

Contenido de humedad del agregado grueso.

Descripción	Unidad	Ensayo	
		N°01	N°02
Peso del recipiente	gr	188.430	153.150
Peso de la muestra húmeda+ recipiente	gr	3608.450	3560.440
Peso de la muestra seca + recipiente	gr	3461.250	3427.530
Contenido de agua	gr	147.200	132.910
Peso de la muestra seca	gr	3272.820	3274.380
Contenido de humedad	%	4.498	4.059
Promedio	%	**4.278**	

Fuente: Propia

4.1.1.5 Resumen de la caracterización de los agregados

Tabla 20:

Resumen de la caracterización del agregado fino y grueso.

Características físicas	Unidad	Agregado fino	Agregado grueso
Peso unitario suelto	gr/cm^3	1.644	1.346
Peso Unitario Compactado	gr/cm^3	1.852	1.468
Peso Específico	gr/cm^3	2.535	2.540
Módulo de fineza	-	2.904	-
Tamaño Máximo Nominal	pulg.	-	3/4
Absorción	%	2.532	2.855
Contenido de Humedad	%	7.842	4.278

Fuente: Propia

4.1.2 Diseño de mezcla

Una vez realizado la caracterización de los agregados se procedió a diseñar la mezcla del concreto de resistencia f'c = 210 Kg/cm^2 (a los 28 días) y asentamiento plástica (3-4 pulg.), en vista de que esta resistencia es la

mínima para elementos estructurales; se diseñó la mezcla utilizando el método del **Comité 211** del **ACI** (Instituto Americano del Concreto).

Tabla 21:

Diseño de mezcla para un metro cúbico de concreto.

Materiales	Concreto normal	Concreto con fibra de acero (kg/m3)		
	Patrón	30 kg/m^3	50 kg/m^3	70 kg/m^3
Slump	3-4 pulg.	3-4 pulg.	3-4 pulg.	3-4 pulg.
Cemento (Kg)	367.120	367.120	367.120	367.120
Agua (Lt)	151.057	151.057	151.057	151.057
Agregado grueso (Kg)	933.175	933.175	933.175	933.175
Agregado fino (Kg)	836.908	836.908	836.908	836.908
Fibra de acero (Kg)	0	30.000	50.000	70.000

Fuente: Propia.

Observamos en la tabla la dosificación de diseño de mezcla del concreto normal (concreto patrón) y el concreto con adición de fibras de acero por metro cúbico de concreto, para la elaboración de especímenes de concreto con resistencia de diseño f'c =210 kg/cm^2.

4.1.3 Elaboración de probetas de concreto

Luego de la elaboración del diseño de mezcla del concreto, se procedió a la elaboración y curado de especímenes de concreto; se realizó de acuerdo a las normas ASTM C192 / NTP 339.183.

- Mezclado del concreto
- Asentamiento del concreto fresco: Se realizó de acuerdo a lo establecido en la norma ASTM C-143 / NTP 339.035. En la siguiente tabla se muestra los asentamientos del concreto patrón y el concreto con fibras de acero.

Tabla 22:

Asentamiento del concreto patrón y concreto con adición de fibras de acero en diferentes cantidades.

Tipo de concreto	Asentamiento (cm – pulg.)	Variación del asentamiento con respecto al concreto patrón (%)
Concreto patrón	9.50 – 3.74	
Adición de 30 Kg/m^3	7.80 – 3.07	-17.89
Adición de 50 Kg/m^3	2.00 – 0.79	-78.95
Adición de 70 Kg/ m^3	0.50 – 0.20	-94.74

Fuente: propia.

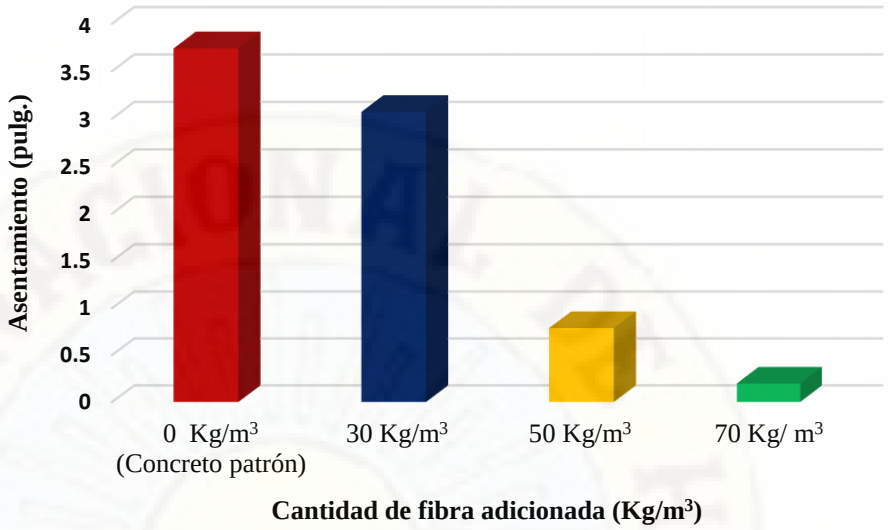


Figura 12. Asentamiento del concreto patrón y concreto con adición de fibra de acero en diferentes cantidades.
Fuente: propia.

La variación porcentual del asentamiento del concreto con adición de fibras de acero en cantidad de 30 Kg/m^3 disminuye en 17.89 % respecto al concreto patrón, dicha mezcla es de consistencia plástica (trabajable);para el caso del concreto con adición de 50 Kg/m^3 de fibra de acero el asentamiento se reduce a 78 % respecto al concreto patrón, donde la mezcla se comporta como de consistencia seca (poco trabajable); y para el concreto con adición de 70 Kg/ m^3 de fibra de acero disminuye en 94.74% respecto al concreto patrón, donde la mezcla de concreto se comporta como de consistencia seca (poco trabajable). Los resultados demuestran que la consistencia por lo tanto la trabajabilidad del concreto es influenciada por la adición de fibras de acero.

En dicha tabla notamos que a medida que aumentamos la cantidad de fibra de acero por metro cúbico de concreto la trabajabilidad disminuye respecto al concreto patrón.

- Elaboración de especímenes de concreto: se realizó el vaciado de concreto en moldes cilíndricos (briquetas) de dimensiones 15 cm de diámetro y 15 cm de altura.
- Desencofrado de especímenes: se desencofro pasando las 24 horas.

- Curado de especímenes: se curó por inmersión los especímenes de concreto en agua, a una temperatura de 23 °C ± 2 °C, durante 28 días en donde alcanza el 99% de la resistencia deseada.

4.1.3.1. Selección del cemento

El cemento que se utilizó en la investigación fue el cemento Andino Tipo I, dicho cemento cumple con la NTP 334.009 y es el más utilizado en la construcción de obras de concreto en general como edificaciones, pavimentos rígidos entre otros.

4.1.3.1. Selección del tipo de fibra de acero

La fibra de acero que se utilizó en la investigación fue las fibras de acero Wirand® de Maccaferri FF1, dicha fibra se utilizó en la pavimentación rígida de calles de la ciudad de Huancavelica como: Malecón Virgen de la Candelaria, jr. José Olaya y jr. Miguel Iglesias del Barrio de San Cristóbal, entre otros.

4.1.4 Resistencia a compresión

La resistencia a compresión de las probetas de concreto patrón o concreto convencional y concreto con adición de fibras de acero se ensayó de acuerdo a la Norma Técnica Peruana NTP 339.034, 2015. Ahora veamos los resultados de los ensayos a compresión axial de probetas:

Tabla 23:

Resistencia a compresión del concreto según las diferentes cantidades de adición de fibra de acero.

Cantidad de fibra adicionada (kg/m3)	Probetas			Diámetro promedio (cm)	Edad	Carga máxima (Kgf)	Resistencia a compresión (Kg/cm^2)	Promedio (Kg/cm^2)
	N°	Código	Fecha de rotura					
0 kg/m^3	1	P-1	01-03-21	15.22	28	41000	225.50	298.99
	2	P-2	01-03-21	15.19	28	59790	329.93	
	3	P-3	01-03-21	15.18	28	61770	341.53	
30 kg/m^3	1	F30-1	02-03-21	15.16	28	44370	245.81	305.44
	2	F30-2	02-03-21	15.19	28	63990	353.11	
	3	F30-3	02-03-21	15.20	28	57560	317.42	
50 kg/m^3	1	F50-1	05-04-21	15.15	28	66130	366.85	344.13
	2	F50-2	05-04-21	15.19	28	53420	294.97	
	3	F50-3	05-04-21	15.20	28	67200	370.58	
70 kg/m^3	1	F70-1	06-04-21	15.16	28	67820	375.97	368.61
	2	F70-2	06-04-21	15.20	28	62220	343.11	
	3	F70-3	06-04-21	15.20	28	70130	386.73	

Fuente: Propia.

Los ensayos a compresión de las probetas de concreto fueron realizados a edad de 28 días para corroborar la resistencia de diseño del concreto convencional (patrón). El concreto convencional (concreto patrón) tuvo una resistencia de 298 Kg/cm^2, la cual superó la resistencia de diseño 210 Kg/cm^2 y en el concreto experimental con adición de 30 kg/m^3, 50 kg/m^3, 70 kg/m^3 de fibra de acero la resistencia es de 305.44 Kg/cm^2, 344.13 Kg/cm^2, 368.61 Kg/cm^2 respectivamente, a medida que se aumenta la cantidad de fibra de acero al concreto la resistencia va incrementándose.

4.1.5 Resistencia a tracción indirecta

Se realizó el ensayo de tracción indirecta mediante el ensayo de doble punzonamiento a los especímenes cilíndricos de concreto de diámetro 15 cm y altura 15 cm a la edad de 28 días con las diferentes cantidades de adición de fibras de acero: 0 Kg/m^3 (patrón), 30 Kg/m^3, 50 Kg/m^3 y 70 Kg/m^3. El cálculo de la resistencia a tracción indirecta está representado con la siguiente expresión:

$$f'_{ct} = \frac{4P}{9\pi * a * h}$$

Donde:

f'ct: resistencia a tracción,

P: carga de rotura,

h: altura de cilindro,

a: diámetro del punzón.

De los especímenes cilíndricos ensayadas con el método de doble punzonamiento se obtuvo una resistencia a tracción indirecta, ahora veamos cuyos resultados en la siguiente tabla:

Tabla 24:

Resistencia a tracción indirecta del concreto según las diferentes cantidades de adición de fibra de acero.

Cantidad de fibra adicionada (kg/m^3)	Probetas			Altura promedio (cm)	Edad (Días)	Carga máxima (Kgf)	Resistencia a tracción indirecta (Kg/cm^2)
	N°	Código	Fecha de rotura				
0 kg/m^3	1	P-4	01-03-21	15.21	28	11290	**27.77**
	2	P-5	01-03-21	15.20	28	11290	**27.79**
	3	P-6	01-03-21	15.20	28	11150	**27.45**
	4	P-7	01-03-21	15.21	28	10950	**26.94**

	5	P-9	01-03-21	15.20	28	11880	**29.25**
	6	P-10	01-03-21	15.14	28	11740	**29.03**
	7	P-11	01-03-21	15.21	28	11190	**27.53**
	8	P-12	01-03-21	15.17	28	11360	**28.02**
	9	P-14	01-03-21	15.08	28	12030	**29.85**
	10	P-15	01-03-21	15.17	28	11310	**27.90**
	11	P-16	01-03-21	15.18	28	11410	**28.13**
	12	P-17	01-03-21	15.14	28	12080	**29.86**
	13	P-18	02-03-21	15.12	28	11490	**28.43**
	14	P-19	03-03-21	15.08	28	11280	**28.00**
30 kg/m^3	1	F30-5	02-03-21	15.05	28	12560	**31.24**
	2	F30-6	02-03-21	15.19	28	12010	**29.60**
	3	F30-7	02-03-21	15.21	28	12600	**31.00**
	4	F30-9	02-03-21	15.06	28	12380	**30.77**
	5	F30-10	02-03-21	15.10	28	12130	**30.06**
	6	F30-11	02-03-21	15.21	28	12290	**30.25**
	7	F30-12	02-03-21	15.22	28	12230	**30.08**
	8	F30-13	02-03-21	15.07	28	12760	**31.69**
	9	F30-14	02-03-21	15.15	28	12630	**31.19**
	10	F30-15	02-03-21	15.01	28	12100	**30.18**
	11	F30-16	02-03-21	15.13	28	12130	**30.01**
	12	F30-17	02-03-21	15.18	28	12500	**30.81**
	13	F30-18	02-03-21	15.04	28	12320	**30.65**
	14	F30-19	02-03-21	15.14	28	11920	**29.46**
50 kg/m^3	1	F50-4	05-04-21	15.20	28	12830	**31.58**
	2	F50-6	05-04-21	15.14	28	12470	**30.82**
	3	F50-7	05-04-21	15.15	28	13270	**32.78**
	4	F50-8	05-04-21	15.21	28	13960	**34.34**
	5	F50-10	05-04-21	15.18	28	14070	**34.69**
	6	F50-11	05-04-21	15.21	28	13140	**32.33**
	7	F50-12	05-04-21	15.20	28	13600	**33.49**
	8	F50-13	05-04-21	15.13	28	13420	**33.20**
	9	F50-14	05-04-21	15.12	28	12550	**31.06**
	10	F50-15	05-04-21	15.16	28	13630	**33.66**
	11	F50-16	05-04-21	15.20	28	13110	**32.27**
	12	F50-17	05-04-21	15.20	28	14060	**34.62**
	13	F50-18	05-04-21	15.12	28	12610	**31.21**
	14	F50-19	05-04-21	15.18	28	13960	**34.41**
70 kg/m^3	1	F70-4	06-04-21	15.04	28	13780	**34.28**
	2	F70-5	06-04-21	15.12	28	13620	**33.71**
	3	F70-6	06-04-21	15.14	28	13640	**33.72**
	4	F70-7	06-04-21	15.04	28	13610	**33.88**
	5	F70-9	06-04-21	15.13	28	14160	**35.03**
	6	F70-10	06-04-21	15.12	28	14020	**34.71**
	7	F70-11	06-04-21	15.02	28	13890	**34.61**
	8	F70-12	06-04-21	15.14	28	13890	**34.34**
	9	F70-13	06-04-21	15.05	28	13640	**33.91**
	10	F70-14	06-04-21	15.13	28	13280	**32.85**
	11	F70-15	06-04-21	15.12	28	13370	**33.10**
	12	F70-17	06-04-21	15.10	28	13760	**34.10**
	13	F70-18	06-04-21	15.09	28	14100	**34.96**
	14	F70-19	06-04-21	15.03	28	13370	**33.29**

Fuente: propia.

En la tabla 24, se muestra el registro de resistencia a tracción indirecta del concreto que se ensayaron a edad de 28 días, según la cantidad de fibra de acero adicionada por metro cúbico de concreto (concreto experimental) así como también la resistencia a tracción indirecta del concreto convencional (patrón).

4.1.6 Parámetros estadísticos

4.1.6.1 Parámetros estadísticos de la resistencia a tracción indirecta del concreto f'c=210 Kg/cm^2

Tabla 25:
Registro de resistencia a tracción del concreto según las diferentes cantidades de adición de fibra de acero.

Número de repeticiones	Tiempo de curado	Unidad	Cantidad de fibra de acero añadida al concreto			
			0 Kg/m^3	30 Kg/m^3	50 Kg/m^3	70 Kg/m^3
1	28 Días	Kg/cm^2	27.85	31.32	31.67	34.37
2	28 Días	Kg/cm^2	27.87	29.68	30.9	33.80
3	28 Días	Kg/cm^2	27.52	31.09	32.87	33.81
4	28 Días	Kg/cm^2	27.02	30.85	34.43	33.97
5	28 Días	Kg/cm^2	29.33	30.14	34.78	35.12
6	28 Días	Kg/cm^2	29.1	30.33	32.41	34.80
7	28 Días	Kg/cm^2	27.61	30.16	33.58	34.70
8	28 Días	Kg/cm^2	28.09	31.77	33.28	34.43
9	28 Días	Kg/cm^2	29.93	31.28	31.14	34.00
10	28 Días	Kg/cm^2	27.97	30.26	33.75	32.94
11	28 Días	Kg/cm^2	28.21	30.08	32.36	33.19
12	28 Días	Kg/cm^2	29.93	30.89	34.71	34.19
13	28 Días	Kg/cm^2	28.51	30.73	31.29	35.06
14	28 Días	Kg/cm^2	28.08	29.54	34.50	33.38

Fuente: propia.

En la tabla 25 se muestra el registro de resistencia a tracción indirecta del concreto patrón y concreto con incorporación de fibras de acero.

Tabla 26:
Indicadores estadísticos de resistencia a tracción indirecta del concreto f'c=210 Kg/cm^2.

Parámetros estadísticos	Cantidad de fibra de acero añadida al concreto				Unidad
	0 Kg/m^3	30 Kg/m^3	50 Kg/m^3	70 Kg/m^3	
Media	28.36	30.58	32.98	34.13	Kg/cm^2
Mediana	28.09	30.53	33.08	34.10	Kg/cm^2
Desviación estándar	0.89	0.66	1.38	0.67	Kg/cm^2
Varianza	0.80	0.43	1.90	0.45	Kg/cm^2

Mínimo	27.02	29.54	30.90	32.94	Kg/cm^2
Máximo	29.93	31.77	34.78	35.12	Kg/cm^2
Coeficiente de variación	3.15	2.15	4.18	1.97	%

Fuente: propia.

En la tabla 26 observamos los parámetros estadísticos de la resistencia a tracción indirecta del concreto f'c =210 Kg/cm^2 para el concreto con adición de fibras de acero y concreto convencional, notamos que el valor promedio de la resistencia a tracción indirecta del concreto convencional sin fibras de acero (patrón) es de 28.36 Kg/cm^2 con una variación de 0.89 Kg/cm^2 y el promedio de la resistencia a tracción indirecta del concreto con incorporación de fibra de acero en cantidades de 30 Kg/m^3, 50 Kg/m^3 y 70 Kg/m^3 es 30.58 Kg/cm^2, 32.98 Kg/cm^2 y 34.13 Kg/cm^2 con una variación de 0.66 Kg/cm^2, 1.38 Kg/cm^{2}y 0.67 Kg/cm^2 respectivamente, es evidente que los promedios de las resistencias a tracción indirecta del concreto con adición de fibras de acero supera la resistencia a tracción indirecta del concreto convencional; por lo tanto la adición de fibras de acero a la mezcla de concreto influye en la resistencia a tracción indirecta del concreto.

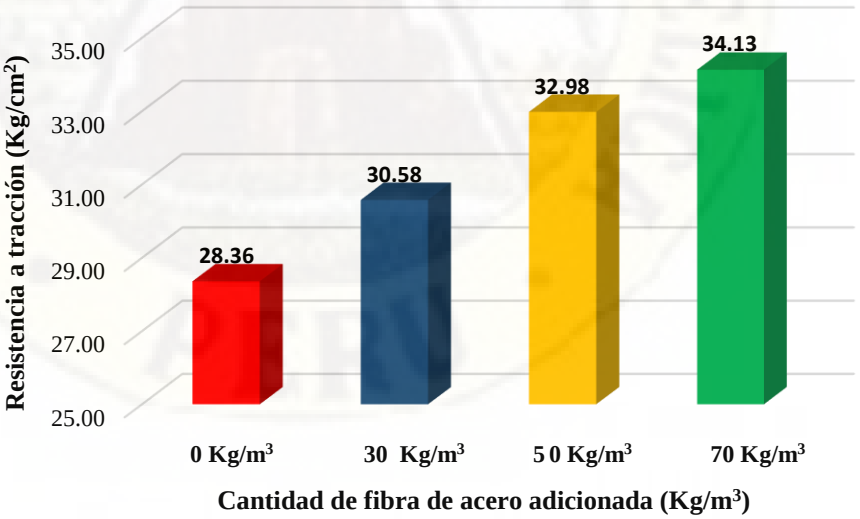


Figura 13. Resistencia promedio a tracción indirecta según las diferentes adiciones de fibra de acero al concreto.
Fuente: propia.

Se aprecian los resultados de los promedios de la resistencia a tracción indirecta a los 28 días en la figura 13, según las diferentes cantidades

adicionadas de fibra de acero al concreto, cuyos promedios muestran una tendencia a aumentar la resistencia a tracción debido a la adición de fibra de acero, con respecto al concreto patrón, de manera que influye la adición de fibras de acero al concreto.

Tabla 27:

Variación porcentual de la resistencia a tracción indirecta debido a la influencia de la fibra de acero, respecto al concreto patrón.

Cantidad de fibra de acero (Kg/m3)	Resistencia a tracción (Kg/cm2)	Incremento en porcentaje (%)
0 Kg/m^3	28.36	0.00 %
30 Kg/m^3	30.58	7.83 %
50 Kg/m^3	32.98	16.29 %
70 Kg/m^3	34.13	20.35 %

Fuente: propia

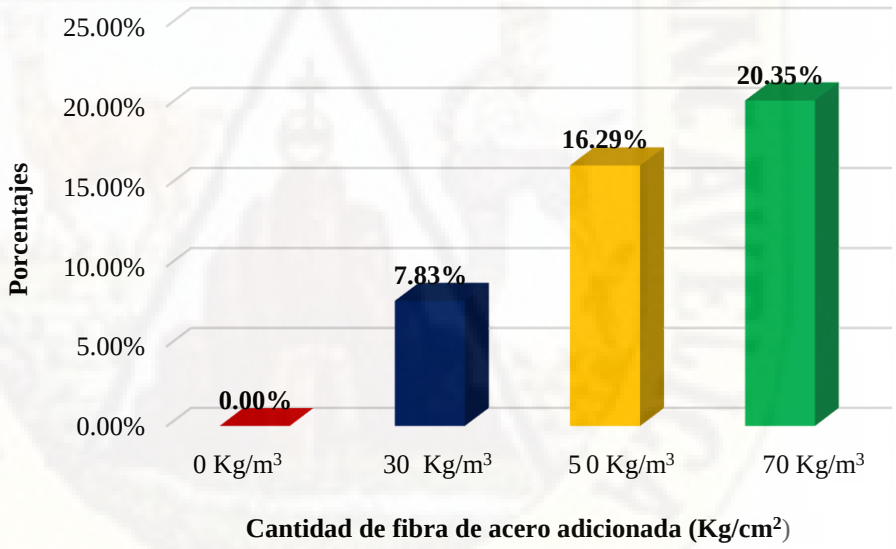


Figura 14. Variación porcentual de la Resistencia a tracción indirecta debido a la influencia de la fibra de acero, respecto al concreto patrón.
Fuente: propia.

La resistencia a tracción indirecta del concreto se incrementó en 7.83 %, 16.29 %, y 20.35% adicionando 30 Kg/m^3, 50 Kg/m^3 y 70 Kg/m^3 de fibra de acero a la mezcla de concreto respectivamente respecto al concreto patrón. En la figura se observa que a medida que se aumenta la cantidad de fibras de acero la resistencia a tracción indirecta aumenta respecto al concreto sin fibra (concreto patrón).

4.1.7 Diseño de regresión

Teniendo los registros de resistencia a tracción indirecta del concreto, donde la adición de las fibras de acero se dio en dosificaciones de: 30 Kg/m^3, 50 Kg/m^3 y 70 Kg/m^3 de concreto como también el del concreto patrón (sin adición de fibra de acero 0 Kg/m^3 de concreto), se procedió a hacer el diseño de regresión para conocer la tendencia de los resultados obtenidos y utilizarlo como instrumento de predicción, se realizó con la ayuda del software SAS Studio Edition University.

Se realizaron tres regresiones: regresión lineal, regresión polinomial de segundo grado y regresión polinomial de tercer grado, dicha regresión es la más aproximada al comportamiento de la investigación, por consiguiente los resultados se muestran a continuación:

Tabla 28:

Resumen de las regresiones.

Regresión	Coeficiente de determinación (R^2)	Ecuación
Lineal	0.84460	$y = 0.08542x + 28.30698$
Cuadrática	0.84466	$y = - 0.00004168x^2 + 0.08828136x + 28.28610564$
Cubica	0.85630	$y = -0.00003535x^3 + 0.00374337x^2 - 0.00643963x + 28.35857143$

Análisis de la regresión polinomial de tercer grado

Tabla 29:

Análisis de varianza con la prueba F para la regresión polinomial de tercer grado.

Origen	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Modelo	3	277.0428625	92.3476208	103.29	<.0001
Error	52	46.4922357	0.8940815		
Total corregido	55	323.5350982			

Fuente: SAS Studio Edition University, elaboración propia.

El valor de la tabla del estadístico de prueba F es 2.783 con un nivel de significancia 5 % y F calculado es 103.29, por lo tanto afirmamos que $F_{Calculado}$ es mayor a F_{Tabla}, entonces verificamos que la regresión polinomial de tercer grado es significativo. El valor de P = 0.0001 es menor a 0.05, indicando que existe la relación funcional entre las cantidades de fibras de acero y la resistencia a tracción indirecta del concreto.

R-cuadrado	Var Coef.	Raíz MSE	Media de RESISTENCIA
0.856299	3.000804	0.945559	31.51018

Tabla 30:
Estimación de parámetros para la regresión polinomial de tercero grado.

Parámetro	Estimación	Error estándar	t valor	Pr > |t|
T. indepen	28.35857143	0.25271122	112.22	<.0001
FIBRA	-0.00643963	0.0489909	-0.13	0.8959
FIBRA * FIBRA	0.00374337	0.00185844	2.01	0.0492
FIBRA * FIBRA * FIBRA	-0.00003535	0.00001722	-2.05	0.0452

Fuente: SAS Studio Edition University, elaboración propia.

Con la tabla de estimación de parámetros se construye la ecuación polinomial de tercer grado:

$y = -0.00003535x^3 + 0.00374337x^2 - 0.00643963x + 28.35857143$, en el cual **"y"** variable dependiente (resistencia a tracción indirecta) y **"x"** variable independiente (fibras de acero).

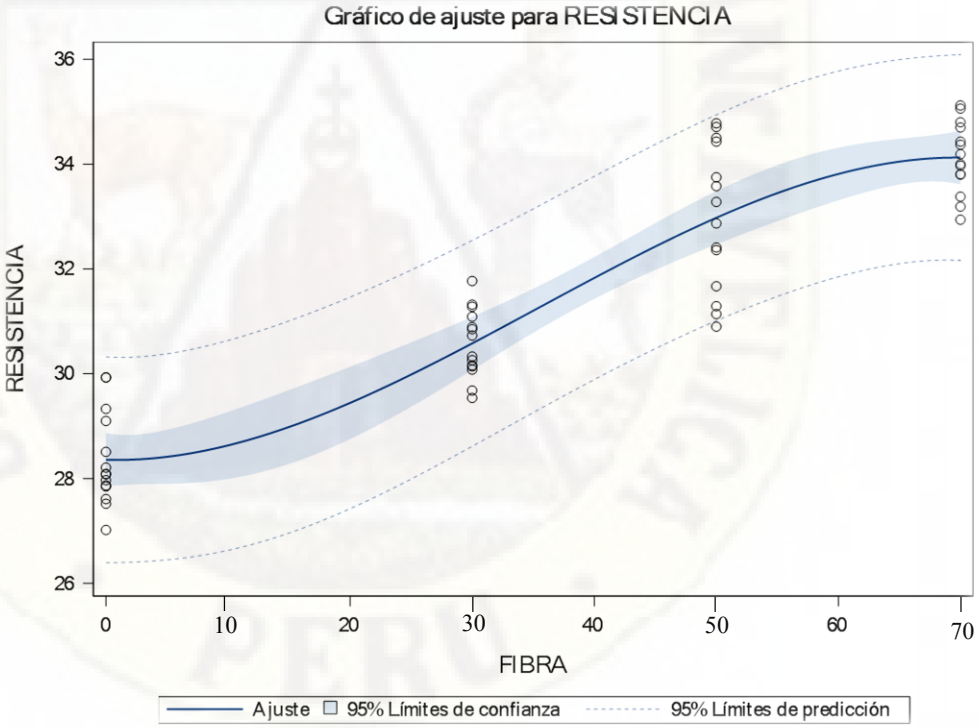


Figura 15. Curva de regresión polinomial de tercer grado de la resistencia a tracción indirecta del concreto y cantidad de fibra adicionada.
Fuente: SAS Studio Edition University, elaboración propia.

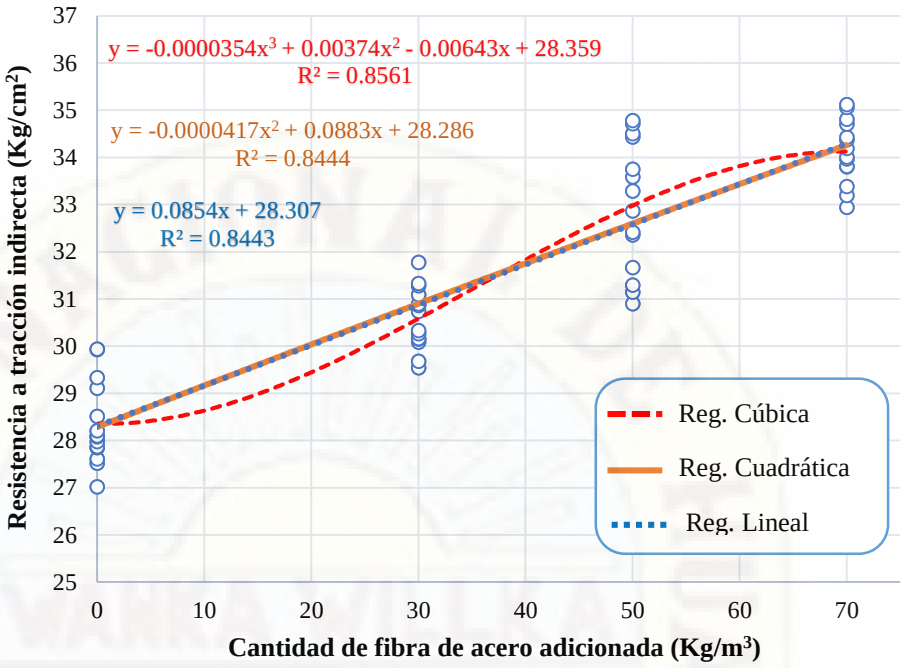


Figura 16. Recta de regresión lineal y curva de regresión cuadrática y cúbica. Fuente: Propia.

Ahora pasamos a analizar las tres regresiones: regresión lineal, regresión polinomial de segundo grado y la regresión polinomial de tercer grado para determinar el modelo matemático de regresión que se ajusta al estudio, examinaremos ahora el coeficiente de determinación R^2, obteniéndose en la regresión lineal el coeficiente de determinación $R^2 = 0.8446$, en la regresión polinomial de segundo orden el coeficiente de determinación $R^2 = 0.844661$ y finalmente para la regresión polinomial de tercer orden el coeficiente de determinación es $R^2 = 0.856299$; siendo esta última que más se aproxima a la unidad en contraste con las dos anteriores regresiones, por lo expuesto notamos que es la que mayor se acomoda al comportamiento del estudio y servirá como instrumento de predicción.

4.1.8 Análisis estadístico

Para evaluar los resultados obtenidos se utilizó el Diseño Completamente al Azar (DCA) con 14 repeticiones y 4 tratamientos.

Para realizar la prueba de hipótesis se realizó con la ayuda del software SAS Studio Edition University.

Para realizar la homogeneidad de varianza se utilizó la prueba de Hartley o de F-Max, dicha prueba consiste en calcular la siguiente expresión cuando el número de repeticiones es igual en todos los tratamientos (López y Gonzáles, 2014).

$$H_c = \frac{\sigma_i^2(\text{máx.})}{\sigma_i^2(\text{mín.})}; i = 1, 2, 3 \ldots, t$$

Donde:

t: es igual al número de tratamientos,

σ_i^2: es la varianza muestral.

En dicha expresión reemplazamos el valor máximo y mínimo seleccionado de la varianza muestral (σ^2) de los cuatro tratamientos de la tabla 26 (Indicadores estadísticos de resistencia a tracción indirecta del concreto f'c=210 Kg/cm^2), siendo la varianza del tratamiento con adición de 50 Kg/m^3 de fibras de acero el máximo igual a $\sigma_i^2 = 1.90$, y la varianza del tratamiento con adición de 30 Kg/m^3 de fibra de acero el mínimo igual a $\sigma_i^2 = 0.43$, entonces H_c = 4.42 y H_t tabulado de la tabla de Hartley con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$, con número de tratamientos igual a k = 4 y numero de repeticiones igual a n-1 = 13 es $H_{(0.05,4,13)}$ = 4.53. Como **H_c< H_t**, se concluye que existe homogeneidad de varianzas, entonces se procede al análisis de varianza.

Tabla 31:

Análisis de varianza.

Origen	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Modelo	3	277.0428625	92.3476208	103.29	<.0001
Error	52	46.4922357	0.8940815		
Total corregido	55	323.5350982			

Fuente: SAS Studio Edition University, elaboración propia.

Planteamos la hipótesis nula e hipótesis alterna para saber si las fibras de acero influyen en la resistencia a tracción indirecta del concreto

Hipótesis nula (H_0): La adición de 30 kg/m^3, 50 kg/m^3 y 70 kg/m^3 de fibras de acero no influyen significativamente en la resistencia a tracción indirecta del concreto.

Hipótesis alterna (H_1): La adición de 30 kg/m^3, 50 kg/m^3 y 70 kg/m^3 de fibras de acero si influyen significativamente en la resistencia a tracción indirecta del concreto.

Con el resultado del análisis de varianza ANOVA con la aplicación de la prueba F, examinamos el nivel de significancia hallado Pr = 0.0001 es menor a 0.05, por lo cual rechazamos la hipótesis nula por lo tanto se aprueba la hipótesis alterna, de otra manera con un nivel de significancia de 0.05, grados de libertad del tratamiento (gl trat) igual a 3 y grado de libertad del error (gl error) igual a 52 el valor de Fisher (F crítico $_{(3, 52, 0.05)}$) igual a 2.78 y F calculado igual a 103.29. Por lo tanto se observa que $F_{Calculado} > F_{Crítico}$ entonces se rechaza la hipótesis nula H_0 y se acepta la hipótesis alterna H_1 verificándose que "La adición de 30 kg/m^3 , 50 kg/m^3 y 70 kg/m^3 de fibras de acero si influyen significativamente en la resistencia a tracción indirecta del concreto".

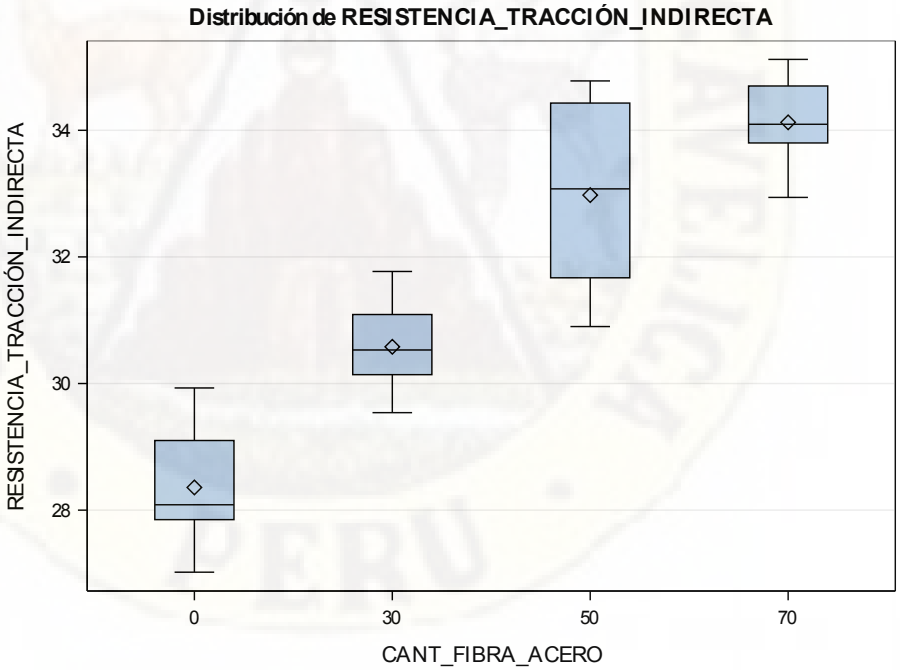


Figura 17. Diagrama de cajas
Fuente: SAS Studio Edition University, elaboración propia.

Se observa que en el diagrama de cajas que no existe algún valor atípico de la resistencia a tracción indirecta del concreto; comparando las medias de las resistencia a tracción indirecta del concreto con los diferentes tratamientos de incorporaciones de fibra de acero a la mezcla de concreto

en diferentes cantidades de 30 kg/m^3 , 50 kg/m^3 y 70 kg/m^3 y el concreto sin incorporación de fibra de acero (0 kg/m^3) el que mayor resistencia a tracción adquirió es el concreto con incorporación de fibra de acero en cantidad de 70 kg/m^3 y los valores de la resistencia tracción indirecta del concreto con incorporación de 50 kg/m^3 de fibra de acero tiene mayor dispersión que el resto es decir el rango de valores es mayor que los demás.

Tabla 32:

Prueba del rango estudentizado de Tukey.

Alpha	**0.05**
Grados de error de libertad	52
Error de cuadrado medio	0.894081
Valor crítico del rango estudentizado	3.75346
Diferencia significativa mínima	0.9485

Fuente: SAS Studio Edition University, elaboración propia.

La diferencia mínima significativa es $\Delta = 0.9485$ a un nivel de significancia $\alpha = 0.05$, observamos en la matriz de diferencia entre los posibles pares de medias que la diferencia $d_{i\text{-}i'} > \Delta$, entonces significa que existe diferencias significativas entre los pares de los tratamientos.

Tabla 33:

Matriz de diferencias entre todos los posibles pares de medias.

Fibra de acero		70 Kg/m^3	50 Kg/m^3	30 Kg/m^3	0 Kg/m^3
	Medias	34.13	32.98	30.58	28.36
0 Kg/m^3	28.36	5.77	4.62	2.22	-
30 Kg/m^3	30.58	3.55	2.40	-	
50 Kg/m^3	32.98	1.15	-		
70 Kg/m^3	34.13	-			

Fuente: elaboración propia.

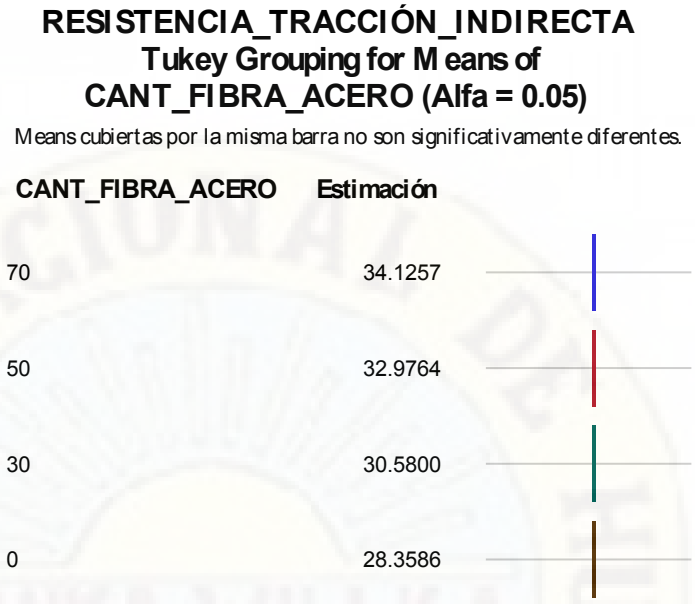


Figura 18. Agrupamiento de Tukey
Fuente: SAS Studio Edition University, elaboración propia.

Las medias no están conectadas mediante la misma barra por consiguiente difieren significativamente.

En el grafico se concluye que la cantidad de fibra de acero que proporciono mayor resistencia a tracción indirecta del concreto es la adición de fibra de acero en cantidad de 70 Kg/m^3 de concreto.

4.1.9 Redes neuronales artificiales

Para la fase de entrenamiento y validación de las Redes neuronales artificiales se ejecutó con el software Matlab versión R2018b.

4.1.9.1 Variables de las redes neuronales artificiales

En la elaboración del modelo de redes neuronales artificiales, las variables fueron recopiladas de los ensayos realizados en el laboratorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil – Huancavelica de la Universidad Nacional de Huancavelica. En la tabla 34 se aprecia las diferentes variables de la capa de entrada: nombres abreviados, nombres, unidades y tipos de las variables obtenidas de los ensayos.

Tabla 34:
Variables de la capa de entrada.

Variable	Descripción	Unidad	Tipo
TMN	Tamaño máximo nominal	pulgadas	Numérico
MF_AF	Módulo de fineza del agregado fino	-	Numérico

PUS_AF	Peso unitario suelto del agregado fino	gr/cm^3	Numérico
PUS_AG	Peso unitario suelto del agregado grueso	gr/cm^3	Numérico
PUC_AF	Peso unitario compactado del agregado fino	gr/cm^3	Numérico
PUC_AG	Peso unitario compactado del agregado grueso	gr/cm^3	Numérico
PE_AF	Peso específico del agregado fino	gr/cm^3	Numérico
PE_AG	Peso específico del agregado grueso	gr/cm^3	Numérico
Abs AF	Absorción del agregado fino	%	Numérico
Abs AG	Absorción del agregado grueso	%	Numérico
CH_AF	Contenido de humedad del agregado fino	%	Numérico
CH_AG	Contenido de humedad del agregado grueso	%	Numérico
CF	Cantidad de fibra	kg/m^3	Numérico
A/C	Relación agua - cemento	lit/kg	Numérico
CC	Cantidad de cemento	kg	Numérico
CA	Cantidad de agua	litros	Numérico
C_AF	Cantidad de Agregado Fino	kg	Numérico
C_AG	Cantidad de Agregado Grueso	kg	Numérico
E	Edad de Ensayo	días	Numérico
P	Carga de rotura	kg	Numérico

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 35 se aprecia las diferentes variables de la capa de salida: nombre abreviado, nombre, unidad y tipo de la variable obtenida del ensayo.

Tabla 35:
Variable de la capa de salida.

Variable	Descripción	Unidad	Tipo
Ra_TI	Resistencia a tracción indirecta	Kg/cm^2	Numérico

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 36 se exhibe los valores de las variables de la capa de entrada y salida para la fase de entrenamiento de los modelos.

Tabla 36:

Valores de las variables de la capa de entrada y salida de la fase de entrenamiento.

	Datos de entrada																				Datos de salida
Código	PUS_AF	PUS_AG	PUC_AF	PUC_AG	PE_AF	PE_AG	MF_AF	TMN	Abs_AF	Abs_AG	CH_AF	CH_AG	CF	E	A/C	CC	CA	C_AF	C_AG	P	Ra_TI
P-4	1.644	1.346	1.852	1.468	2.535	2.54	2.904	0.75	2.532	2.855	4.2	2.089	0	28	0.558	367.12	151.057	836.908	933.175	11290	27.85
F30-5	1.644	1.346	1.852	1.468	2.535	2.54	2.904	0.75	2.532	2.855	4.2	2.089	30	28	0.558	367.12	151.057	836.908	933.175	12560	31.32
F50-4	1.644	1.346	1.852	1.468	2.535	2.54	2.904	0.75	2.532	2.855	4.2	2.089	50	28	0.558	367.12	151.057	836.908	933.175	12830	31.67
F70-4	1.644	1.346	1.852	1.468	2.535	2.54	2.904	0.75	2.532	2.855	4.2	2.089	70	28	0.558	367.12	151.057	836.908	933.175	13780	34.37
P-5	1.644	1.346	1.852	1.468	2.535	2.54	2.904	0.75	2.532	2.855	4.2	2.089	0	28	0.558	367.12	151.057	836.908	933.175	11290	27.87
F30-6	1.644	1.346	1.852	1.468	2.535	2.54	2.904	0.75	2.532	2.855	4.2	2.089	30	28	0.558	367.12	151.057	836.908	933.175	12010	29.68
F50-6	1.644	1.346	1.852	1.468	2.535	2.54	2.904	0.75	2.532	2.855	4.2	2.089	50	28	0.558	367.12	151.057	836.908	933.175	12470	30.9
F70-5	1.644	1.346	1.852	1.468	2.535	2.54	2.904	0.75	2.532	2.855	4.2	2.089	70	28	0.558	367.12	151.057	836.908	933.175	13620	33.8
P-6	1.644	1.346	1.852	1.468	2.535	2.54	2.904	0.75	2.532	2.855	4.2	2.089	0	28	0.558	367.12	151.057	836.908	933.175	11150	27.52
F30-7	1.644	1.346	1.852	1.468	2.535	2.54	2.904	0.75	2.532	2.855	4.2	2.089	30	28	0.558	367.12	151.057	836.908	933.175	12600	31.09
F50-7	1.644	1.346	1.852	1.468	2.535	2.54	2.904	0.75	2.532	2.855	4.2	2.089	50	28	0.558	367.12	151.057	836.908	933.175	13270	32.87
F70-6	1.644	1.346	1.852	1.468	2.535	2.54	2.904	0.75	2.532	2.855	4.2	2.089	70	28	0.558	367.12	151.057	836.908	933.175	13640	33.81
P-7	1.644	1.346	1.852	1.468	2.535	2.54	2.904	0.75	2.532	2.855	4.2	2.089	0	28	0.558	367.12	151.057	836.908	933.175	10950	27.02
F30-9	1.644	1.346	1.852	1.468	2.535	2.54	2.904	0.75	2.532	2.855	4.2	2.089	30	28	0.558	367.12	151.057	836.908	933.175	12380	30.85
F50-8	1.644	1.346	1.852	1.468	2.535	2.54	2.904	0.75	2.532	2.855	4.2	2.089	50	28	0.558	367.12	151.057	836.908	933.175	13960	34.43
F70-7	1.644	1.346	1.852	1.468	2.535	2.54	2.904	0.75	2.532	2.855	4.2	2.089	70	28	0.558	367.12	151.057	836.908	933.175	13610	33.97
P-9	1.644	1.346	1.852	1.468	2.535	2.54	2.904	0.75	2.532	2.855	4.2	2.089	0	28	0.558	367.12	151.057	836.908	933.175	11880	29.33
F30-10	1.644	1.346	1.852	1.468	2.535	2.54	2.904	0.75	2.532	2.855	4.2	2.089	30	28	0.558	367.12	151.057	836.908	933.175	12130	30.14
F50-10	1.644	1.346	1.852	1.468	2.535	2.54	2.904	0.75	2.532	2.855	4.2	2.089	50	28	0.558	367.12	151.057	836.908	933.175	14070	34.78
F70-9	1.644	1.346	1.852	1.468	2.535	2.54	2.904	0.75	2.532	2.855	4.2	2.089	70	28	0.558	367.12	151.057	836.908	933.175	14160	35.12
P-10	1.644	1.346	1.852	1.468	2.535	2.54	2.904	0.75	2.532	2.855	4.2	2.089	0	28	0.558	367.12	151.057	836.908	933.175	11740	29.1
F30-11	1.644	1.346	1.852	1.468	2.535	2.54	2.904	0.75	2.532	2.855	4.2	2.089	30	28	0.558	367.12	151.057	836.908	933.175	12290	30.33
F50-11	1.644	1.346	1.852	1.468	2.535	2.54	2.904	0.75	2.532	2.855	4.2	2.089	50	28	0.558	367.12	151.057	836.908	933.175	13140	32.41
F70-10	1.644	1.346	1.852	1.468	2.535	2.54	2.904	0.75	2.532	2.855	4.2	2.089	70	28	0.558	367.12	151.057	836.908	933.175	14020	34.8
P-11	1.644	1.346	1.852	1.468	2.535	2.54	2.904	0.75	2.532	2.855	4.2	2.089	0	28	0.558	367.12	151.057	836.908	933.175	11190	27.61
F30-12	1.644	1.346	1.852	1.468	2.535	2.54	2.904	0.75	2.532	2.855	4.2	2.089	30	28	0.558	367.12	151.057	836.908	933.175	12230	30.16
F50-12	1.644	1.346	1.852	1.468	2.535	2.54	2.904	0.75	2.532	2.855	4.2	2.089	50	28	0.558	367.12	151.057	836.908	933.175	13600	33.58
F70-11	1.644	1.346	1.852	1.468	2.535	2.54	2.904	0.75	2.532	2.855	4.2	2.089	70	28	0.558	367.12	151.057	836.908	933.175	13890	34.7
P-12	1.644	1.346	1.852	1.468	2.535	2.54	2.904	0.75	2.532	2.855	4.2	2.089	0	28	0.558	367.12	151.057	836.908	933.175	11360	28.09
F30-13	1.644	1.346	1.852	1.468	2.535	2.54	2.904	0.75	2.532	2.855	4.2	2.089	30	28	0.558	367.12	151.057	836.908	933.175	12760	31.77
F50-13	1.644	1.346	1.852	1.468	2.535	2.54	2.904	0.75	2.532	2.855	4.2	2.089	50	28	0.558	367.12	151.057	836.908	933.175	13420	33.28
F70-12	1.644	1.346	1.852	1.468	2.535	2.54	2.904	0.75	2.532	2.855	4.2	2.089	70	28	0.558	367.12	151.057	836.908	933.175	13890	34.43
P-14	1.644	1.346	1.852	1.468	2.535	2.54	2.904	0.75	2.532	2.855	4.2	2.089	0	28	0.558	367.12	151.057	836.908	933.175	12030	29.93

F30-14	1.644	1.346	1.852	1.468	2.535	2.54	2.904	0.75	2.532	2.855	4.2	2.089	30	28	0.558	367.12	151.057	836.908	933.175	12630	31.28
F50-14	1.644	1.346	1.852	1.468	2.535	2.54	2.904	0.75	2.532	2.855	4.2	2.089	50	28	0.558	367.12	151.057	836.908	933.175	12550	31.14
F70-13	1.644	1.346	1.852	1.468	2.535	2.54	2.904	0.75	2.532	2.855	4.2	2.089	70	28	0.558	367.12	151.057	836.908	933.175	13640	34
P-15	1.644	1.346	1.852	1.468	2.535	2.54	2.904	0.75	2.532	2.855	4.2	2.089	0	28	0.558	367.12	151.057	836.908	933.175	11310	27.97
F30-15	1.644	1.346	1.852	1.468	2.535	2.54	2.904	0.75	2.532	2.855	4.2	2.089	30	28	0.558	367.12	151.057	836.908	933.175	12100	30.26
F50-15	1.644	1.346	1.852	1.468	2.535	2.54	2.904	0.75	2.532	2.855	4.2	2.089	50	28	0.558	367.12	151.057	836.908	933.175	13630	33.75
F70-14	1.644	1.346	1.852	1.468	2.535	2.54	2.904	0.75	2.532	2.855	4.2	2.089	70	28	0.558	367.12	151.057	836.908	933.175	13280	32.94

Fuente: Elaboración propia.

De los 56 datos totales obtenidos de los ensayos de laboratorio, 40 datos son destinados para la fase de entrenamiento y 16 datos para la fase de validación de modelo (Simulación) mediante el software Matlab.

En la tabla 37 se exhibe los valores de las variables de la capa de entrada y salida deseada de la fase validación de los modelos.

Tabla 37:

Valores de las variables de la capa de entrada y salida deseada de la fase de validación.

	Datos de entrada																				**Datos de salida**
Código	PUS_AF	PUS_AG	PUC_AF	PUC_AG	PE_AF	PE_AG	MF_AF	TMN	Abs_AF	Abs_AG	CH_AF	CH_AG	CF	E	A/C	CC	CA	C_AF	C_AG	P	Ra_TI
P-16	1.644	1.346	1.852	1.468	2.535	2.54	2.904	0.75	2.532	2.855	4.2	2.089	0	28	0.558	367.12	151.057	836.908	933.175	11410	28.21
F30-16	1.644	1.346	1.852	1.468	2.535	2.54	2.904	0.75	2.532	2.855	4.2	2.089	30	28	0.558	367.12	151.057	836.908	933.175	12130	30.08
F50-16	1.644	1.346	1.852	1.468	2.535	2.54	2.904	0.75	2.532	2.855	4.2	2.089	50	28	0.558	367.12	151.057	836.908	933.175	13110	32.36
F70-15	1.644	1.346	1.852	1.468	2.535	2.54	2.904	0.75	2.532	2.855	4.2	2.089	70	28	0.558	367.12	151.057	836.908	933.175	13370	33.19
P-17	1.644	1.346	1.852	1.468	2.535	2.54	2.904	0.75	2.532	2.855	4.2	2.089	0	28	0.558	367.12	151.057	836.908	933.175	12080	29.93
F30-17	1.644	1.346	1.852	1.468	2.535	2.54	2.904	0.75	2.532	2.855	4.2	2.089	30	28	0.558	367.12	151.057	836.908	933.175	12500	30.89
F50-17	1.644	1.346	1.852	1.468	2.535	2.54	2.904	0.75	2.532	2.855	4.2	2.089	50	28	0.558	367.12	151.057	836.908	933.175	14060	34.71
F70-17	1.644	1.346	1.852	1.468	2.535	2.54	2.904	0.75	2.532	2.855	4.2	2.089	70	28	0.558	367.12	151.057	836.908	933.175	13760	34.19
P-18	1.644	1.346	1.852	1.468	2.535	2.54	2.904	0.75	2.532	2.855	4.2	2.089	0	28	0.558	367.12	151.057	836.908	933.175	11490	28.51
F30-18	1.644	1.346	1.852	1.468	2.535	2.54	2.904	0.75	2.532	2.855	4.2	2.089	30	28	0.558	367.12	151.057	836.908	933.175	12320	30.73
F50-18	1.644	1.346	1.852	1.468	2.535	2.54	2.904	0.75	2.532	2.855	4.2	2.089	50	28	0.558	367.12	151.057	836.908	933.175	12610	31.29
F70-18	1.644	1.346	1.852	1.468	2.535	2.54	2.904	0.75	2.532	2.855	4.2	2.089	70	28	0.558	367.12	151.057	836.908	933.175	14100	35.06
P-19	1.644	1.346	1.852	1.468	2.535	2.54	2.904	0.75	2.532	2.855	4.2	2.089	0	28	0.558	367.12	151.057	836.908	933.175	11280	28.08
F30-19	1.644	1.346	1.852	1.468	2.535	2.54	2.904	0.75	2.532	2.855	4.2	2.089	30	28	0.558	367.12	151.057	836.908	933.175	11920	29.54
F50-19	1.644	1.346	1.852	1.468	2.535	2.54	2.904	0.75	2.532	2.855	4.2	2.089	50	28	0.558	367.12	151.057	836.908	933.175	13960	34.5
F70-19	1.644	1.346	1.852	1.468	2.535	2.54	2.904	0.75	2.532	2.855	4.2	2.089	70	28	0.558	367.12	151.057	836.908	933.175	13370	33.38

Fuente: Elaboración propia.

4.1.9.2 Fase de entrenamiento de la Red Neuronal Artificial

Se usó la librería "neural network/data manager" que viene incorporado por defecto en el software Matlab (versión R2018b) para las predicciones de los resultados, el cual se ejecuta con el comando "nntool".

De los 40 datos seleccionados para la fase de entrenamiento, Matlab por defecto divide en 3 grupos aleatoriamente de 70% para el grupo de entrenamiento, 15% para el grupo de prueba y 15% para grupo de validación en los 15 modelos de la red neuronal.

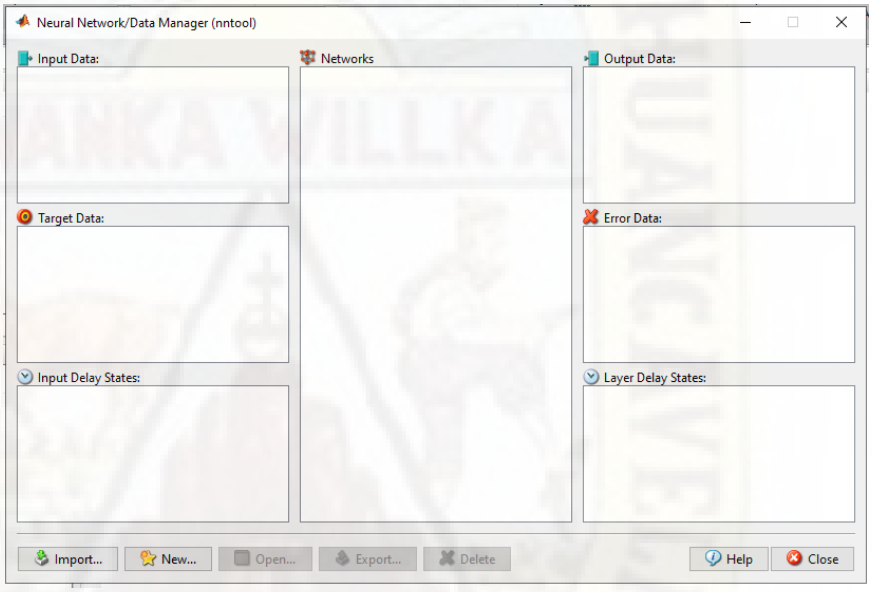


Figura 19. Interfaz de la herramienta de Neuronal Network/Data Manager de Matlab.
Fuente: Matlab versión R2018b.

Se entrenaron varios modelos con diferentes arquitecturas, de las cuales se seleccionó 15 modelos y detallaremos a 2 modelos resaltantes con diferentes topologías y parámetros. A continuación, se muestran los procesos de los 2 modelos:

- **Proceso y parámetros de la red**

  En la figura 20 y figura 21 se exhibe las configuraciones de los modelos resaltantes.

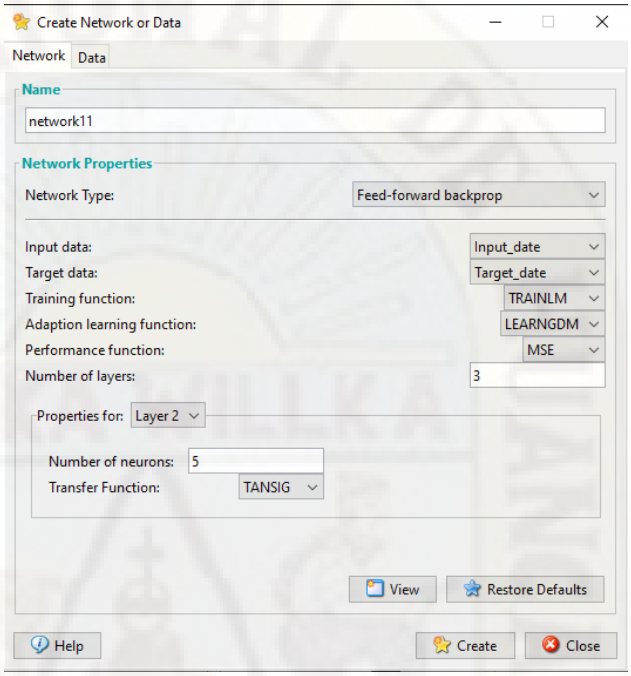


Figura 20. Configuración de la red neuronal 11.
Fuente: Matlab versión R2018b.

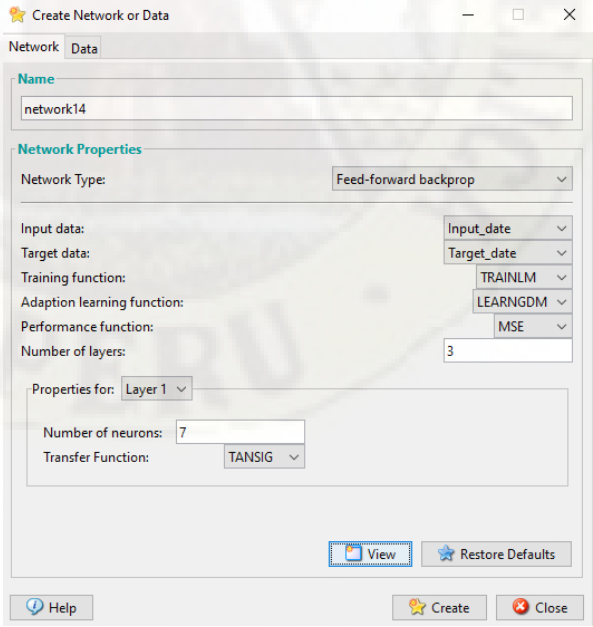


Figura 21. Configuración de la Red neuronal 14.
Fuente: Matlab versión R2018b.

En las configuraciones para todos los modelos: el tipo de red es la Backpropagation, la función de entrenamiento es la TRAINLM optimizado por Levenberg-Marquardt, la función de aprendizaje que se basa en el gradiente descendiente (LEARNGDM) y desempeño basado en el error cuadrático medio (MSE).

El número de capas en los modelos varían entre 3 y 4 capas.

El número de neuronas en la capa de entrada y salida se mantiene para todos los modelos y las capas ocultas son diferentes en todos los modelos.

La función de activación tanto para las capas ocultas como para la capa de salida es TANSIG.

En la figura 22 y figura 23 se muestra la red neuronal 11 y la red neuronal 14 respectivamente con 4 capas y números de las neuronas en cada capa.

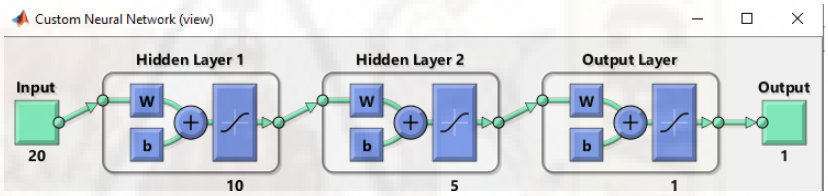


Figura 22. Estructura de la Red neuronal 11.
Fuente: Matlab versión R2018b.

La Red neuronal 11 cuenta con 20 neuronas en la capa de entrada, primera capa oculta con 10 neuronas, segunda capa oculta con 5 neuronas y capa de salida con 1 neurona.

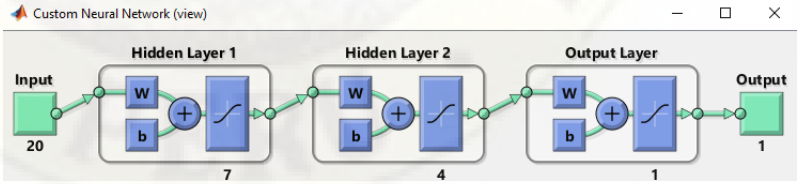


Figura 23. Estructura de la Red neuronal 14.
Fuente: Matlab versión R2018b.

La Red neuronal 14 cuenta con 20 neuronas en la capa de entrada, primera capa oculta con 7 neuronas, segunda capa oculta con 4 neuronas y capa de salida con 1 neurona.

En la figura 24 y figura 25 se exhiben los parámetros de las redes en la fase de entrenamiento.

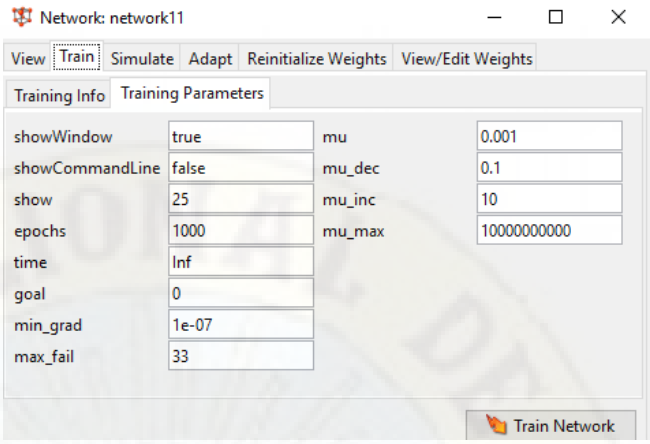


Figura 24. Parámetros de entrenamiento de la red neuronal 11.
Fuente: Matlab versión R2018b.

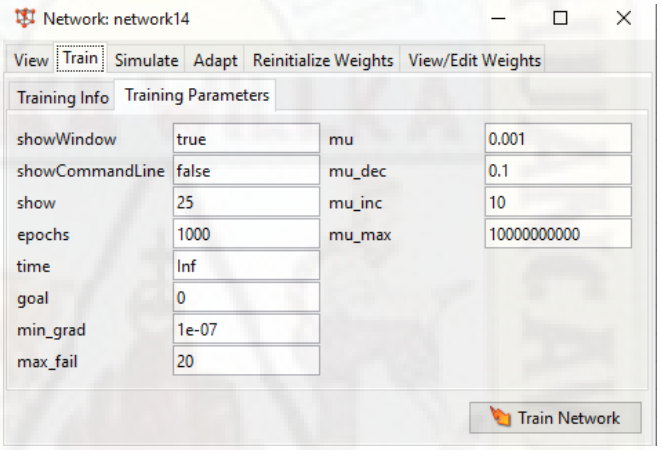


Figura 25. Parámetros de entrenamiento de la red neuronal 14.
Fuente: Matlab versión R2018b.

Se obtiene los resultados de la red neuronal 11 y red neuronal 14 con un performance de 0.00269 y 0.00748 respectivamente usando el error cuadrático medio como se muestra en la figura 26 y figura 27.

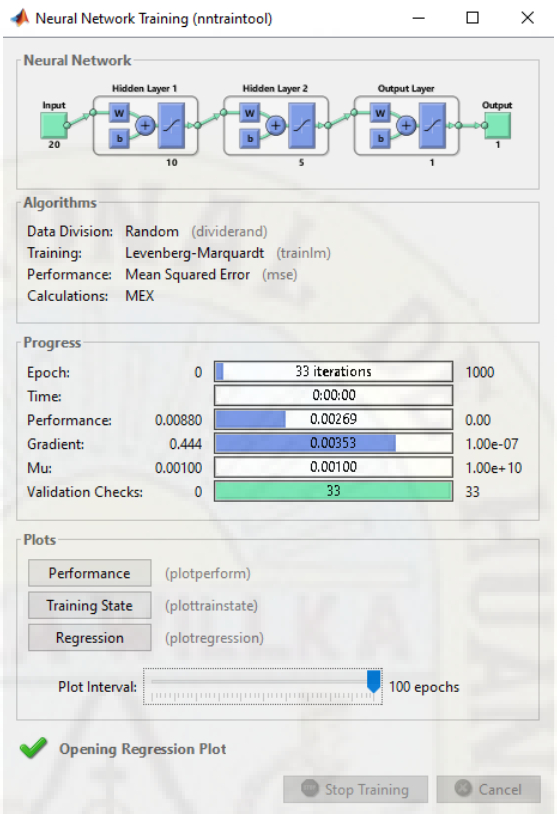


Figura 26. Resultado de la Red neuronal 11.
Fuente: Matlab versión R2018b.

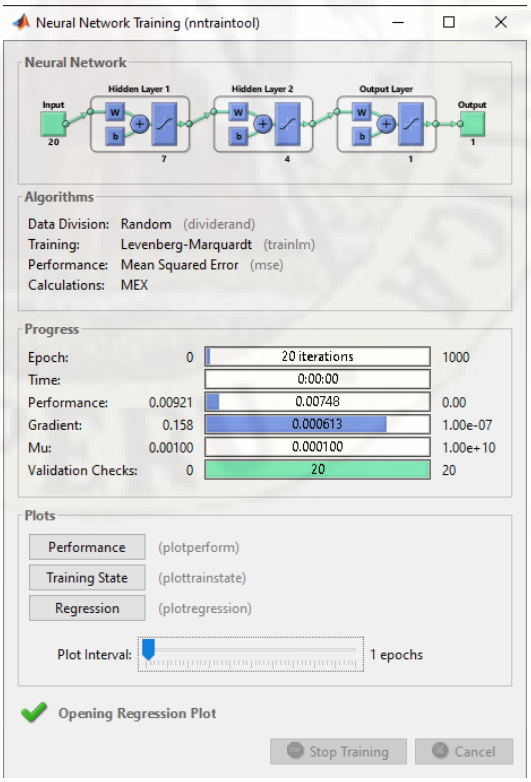


Figura 27. Resultado de la Red neuronal 14.
Fuente: Matlab versión R2018b.

4.1.9.3 Resumen de resultados en la fase de entrenamiento de los modelos.

En la tabla 38 se muestra los resultados del entrenamiento de los 15 modelos con sus nombres de las redes, arquitecturas, coeficientes de correlación de Pearson (R) de cada grupo y error relativo medio (%).

Tabla 38:

Resultado de las diferentes arquitecturas del entrenamiento.

N° de RNA	Arquitectura de RNA	R (Entrenamiento)	R (Validación)	R (Prueba)	R (Total)	Error relativo medio (%)
Red neuronal 1	[20 5 1]	0.99845	0.99924	0.99924	0.99867	0.28765
Red neuronal 2	[20 10 1]	0.99916	0.99986	0.99922	0.99910	0.26112
Red neuronal 3	[20 15 1]	0.99914	0.99895	0.99941	0.99919	0.23432
Red neuronal 4	[20 20 1]	0.99806	0.99897	0.99884	0.99826	0.27646
Red neuronal 5	[20 25 1]	0.99144	0.99983	0.99895	0.99468	0.31595
Red neuronal 6	[20 5 5 1]	0.99918	0.99967	0.99938	0.99915	0.25851
Red neuronal 7	[20 10 10 1]	0.99911	0.99991	0.99915	0.99916	0.25104
Red neuronal 8	[20 15 15 1]	0.99843	0.99976	0.99716	0.99852	0.28763
Red neuronal 9	[20 20 15 1]	0.99525	0.99975	0.9995	0.99618	0.26316
Red neuronal 10	[20 15 10 1]	0.99916	0.99986	0.99841	0.99910	0.25524
Red neuronal 11	[20 10 5 1]	0.99929	0.99917	0.99983	0.99932	0.23154
Red neuronal 12	[20 10 8 1]	0.99912	0.99981	0.99775	0.99920	0.25477
Red neuronal 13	[20 9 7 1]	0.99913	0.9987	0.99972	0.99913	0.22173
Red neuronal 14	[20 7 4 1]	0.9992	0.99237	0.99987	0.99922	0.22800
Red neuronal 15	[20 6 5 1]	0.99926	0.99826	0.99928	0.99914	0.19978

Fuente: elaboración propia.

De la tabla 38, se seleccionó 2 redes neuronales con el mayor coeficiente de correlación de Pearson R con su respectivo error relativo medio y las redes seleccionadas son: la red neuronal 11 y red neuronal 14, los errores relativos medios en el proceso de entrenamiento son de 0.23154% y 0.22800% respectivamente, de la misma forma con coeficiente de correlación Pearson R de 0.99932 y 0.99922 respectivamente.

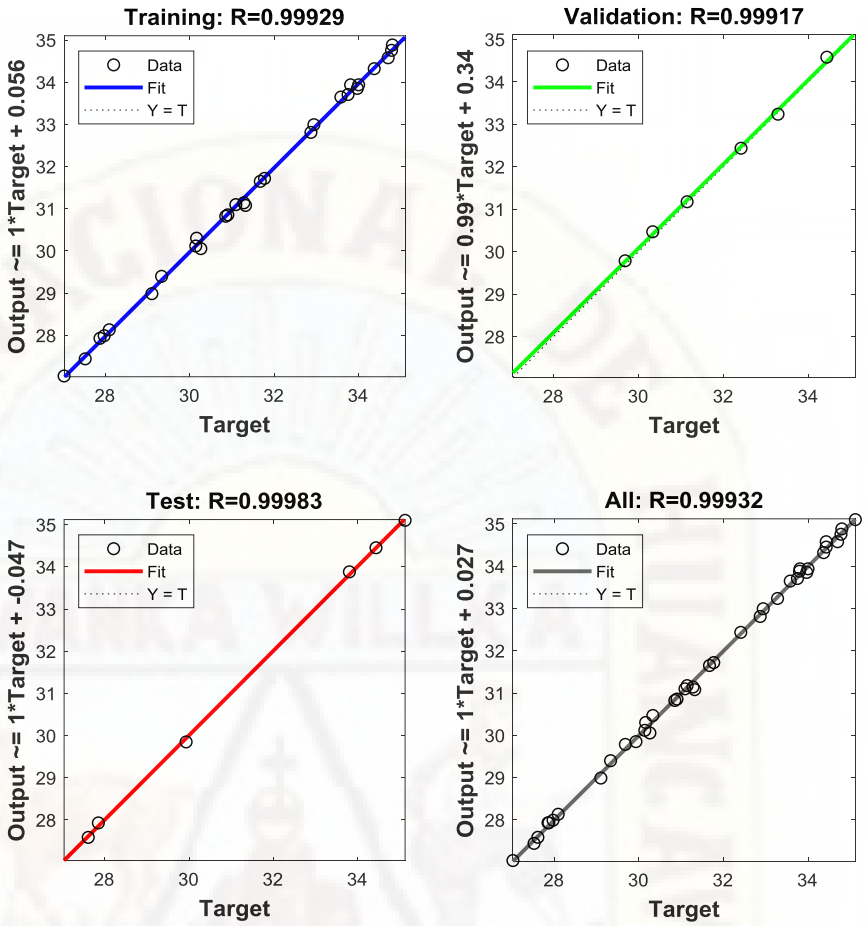


Figura 28. Coeficiente de Pearson R de la red neuronal 11
Fuente: Matlab versión R2018b.

En la figura 28 tenemos los resultados de la Red neuronal 11, En el grupo de entrenamiento (Training) se ejecutó con 70% de dato obteniendo el coeficiente Pearson R=0.99929, para el grupo de validación (Validation) se ejecutó con 15% de dato obteniendo el coeficiente Pearson R=0.99917, para el grupo de prueba (Test) se ejecutó con 15% de dato obteniendo el coeficiente Pearson R=0.99983 y en general (All) presenta una buena correlación obteniendo el coeficiente Pearson de R=0.99932.

4.1.9.4 Fase de validación de datos

En esta fase de validación se procedió a predecir la resistencia a tracción indirecta con los 2 modelos seleccionados previamente en el entrenamiento de las redes como se figura en la tabla 38, para determinar un modelo adecuado.

Se ejecutó importando los datos de entrada de la tabla 37 (Valores de las variables de la capa de entrada y salida deseada en la fase de validación) para estimar los datos de salida (resistencia a tracción indirecta).

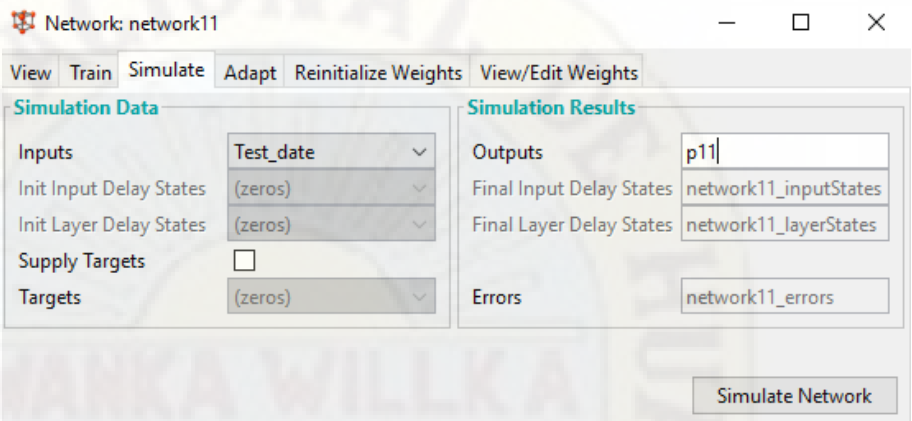


Figura 29. Simulación de la red neuronal 11.
Fuente: Matlab versión R2018b.

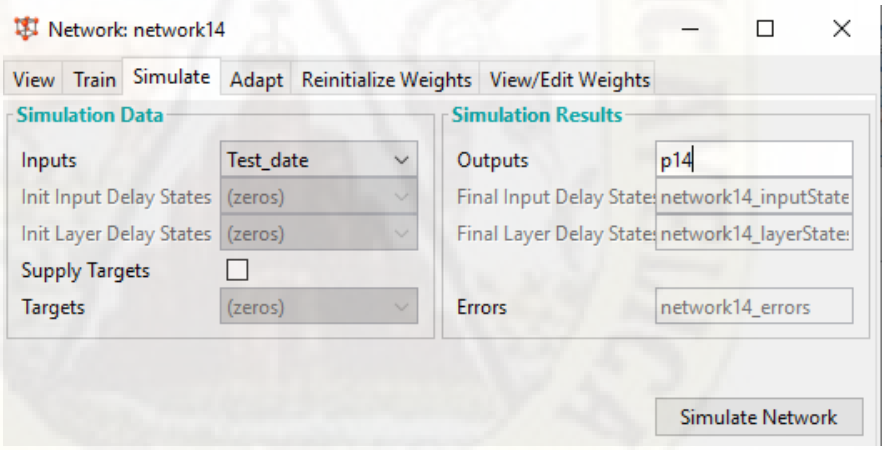


Figura 30. Simulación de la red neuronal 14.
Fuente: Matlab versión R2018b.

Obteniendo las siguientes predicciones de las 2 redes neuronales.

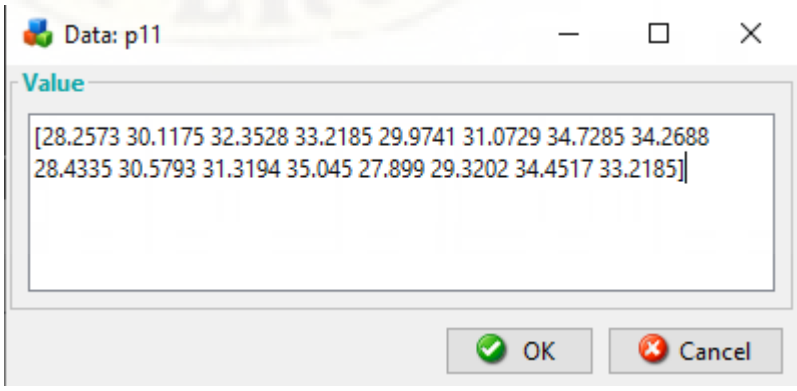


Figura 31. Predicción de la Red neuronal 11.
Fuente: Matlab versión R2018b.

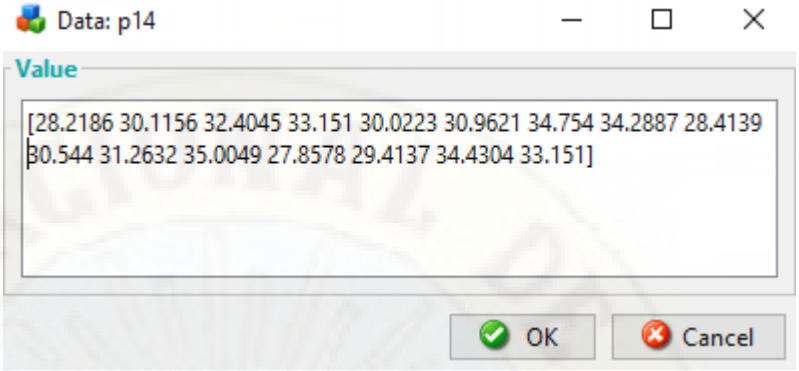


Figura 32. Predicción de la Red neuronal 14.
Fuente: Matlab versión R2018b.

Tabla 39:

Resultado de la predicción de las redes neuronales.

Código	Fibra de acero (Kg/m^3)	Resistencia a tracción indirecta (Kg/cm^2) – Real	Red neuronal _11 (Kg/cm^2)	Red neuronal _14 (Kg/cm^2)
P-16	0	28.210	28.257	28.219
F30-16	30	30.080	30.118	30.116
F50-16	50	32.360	32.353	32.405
F70-15	70	33.190	33.219	33.151
P-17	0	29.930	29.974	30.022
F30-17	30	30.890	31.073	30.962
F50-17	50	34.710	34.729	34.754
F70-17	70	34.190	34.269	34.289
P-18	0	28.510	28.434	28.414
F30-18	30	30.730	30.579	30.544
F50-18	50	31.290	31.319	31.263
F70-18	70	35.060	35.045	35.005
P-19	0	28.080	27.899	27.858
F30-19	30	29.540	29.320	29.414
F50-19	50	34.500	34.452	34.430
F70-19	70	33.380	33.219	33.151

Fuente: elaboración propia.

4.1.9.5 Resistencia a tracción indirecta real vs Redes Neuronales Artificiales (RNA)

- **Red neuronal 11**

En la tabla 40 se muestran los datos obtenidos a través de los ensayos (real), valores estimados y errores mediante el modelo la red neuronal 11.

Tabla 40:

Resistencia a tracción indirecta real vs red neuronal 11.

Red neuronal _11

Código	Fibra de acero (Kg/m^3)	Resistencia a tracción indirecta (Kg/cm^2) - Real	Resistencia a tracción indirecta (Kg/cm^2) - Pronóstico	Diferencia	Error (%)
P-16	0	28.210	28.257	-0.047	-0.1675
F30-16	30	30.080	30.118	-0.038	-0.1248
F50-16	50	32.360	32.353	0.007	0.0224
F70-15	70	33.190	33.219	-0.029	-0.0860
P-17	0	29.930	29.974	-0.044	-0.1474
F30-17	30	30.890	31.073	-0.183	-0.5921
F50-17	50	34.710	34.729	-0.019	-0.0534
F70-17	70	34.190	34.269	-0.079	-0.2304
P-18	0	28.510	28.434	0.076	0.2683
F30-18	30	30.730	30.579	0.151	0.4904
F50-18	50	31.290	31.319	-0.029	-0.0939
F70-18	70	35.060	35.045	0.015	0.0427
P-19	0	28.080	27.899	0.181	0.6448
F30-19	30	29.540	29.320	0.220	0.7442
F50-19	50	34.500	34.452	0.048	0.1401
F70-19	70	33.380	33.219	0.161	0.4837
			Error relativo medio (%)		**0.2708**
			Error Cuadrático Medio		**0.0116**

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 40, la red neuronal 11 tiene un error de 0.2708% menor de las dos redes seleccionados y un error cuadrático medio de 0.0116, asimismo una diferencia mínima de -0.183 kg/cm^2 y diferencia máxima 0.220 kg/cm^2 que equivale al error relativo de -0.5921% y 0.7442% respectivamente.

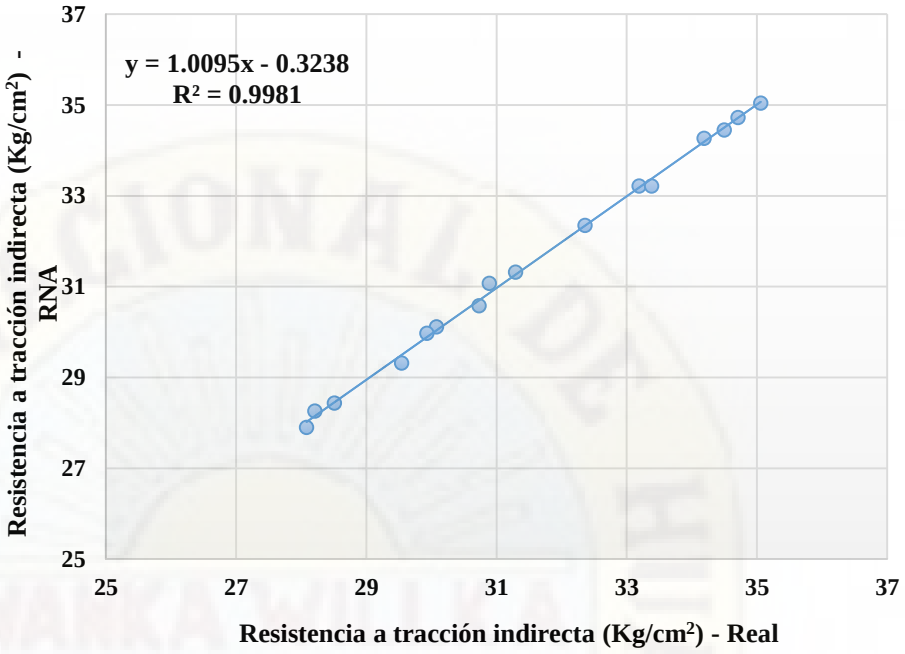


Figura 33. Resistencia a tracción indirecta real vs predicción por red neuronal 11.
Fuente: elaboración propia.

En la figura 33, se presenta la dispersión de la resistencia a tracción indirecta real y resistencia a tracción indirecta pronosticada por la Red neuronal 11.

Se trazó una línea recta de tendencia formada por la ecuación Y=1.0095X-0.3238 donde la variable X es la resistencia a tracción indirecta real, Y es la resistencia a tracción indirecta estimada con un coeficiente de determinación R^2=0.9981.

- **Red neuronal 14**

En la siguiente tabla se muestra los datos obtenidos a través de los ensayos (real), valores estimados y errores mediante la red neuronal 14.

Tabla 41:
Resistencia a tracción indirecta real vs Red neuronal 14.

Red neuronal _14					
Código	**Fibra de acero (Kg/m³)**	**Resistencia a tracción indirecta (Kg/cm²) - Real**	**Resistencia a tracción indirecta (Kg/cm²) - Pronóstico**	**Diferencia**	**Error (%)**
P-16	0	28.210	28.219	-0.009	-0.0305

F30-16	30	30.080	30.116	-0.036	-0.1183
F50-16	50	32.360	32.405	-0.045	-0.1376
F70-15	70	33.190	33.151	0.039	0.1174
P-17	0	29.930	30.022	-0.092	-0.3085
F30-17	30	30.890	30.962	-0.072	-0.2336
F50-17	50	34.710	34.754	-0.044	-0.1269
F70-17	70	34.190	34.289	-0.099	-0.2886
P-18	0	28.510	28.414	0.096	0.3370
F30-18	30	30.730	30.544	0.186	0.6054
F50-18	50	31.290	31.263	0.027	0.0857
F70-18	70	35.060	35.005	0.055	0.1573
P-19	0	28.080	27.858	0.222	0.7912
F30-19	30	29.540	29.414	0.126	0.4277
F50-19	50	34.500	34.430	0.070	0.2016
F70-19	70	33.380	33.151	0.229	0.6859
			Error relativo medio (%)		**0.2908**
			Error Cuadrático Medio		**0.0125**

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 41, la red neuronal 14 tiene un error de 0.2908% siendo el mayor de las redes seleccionadas y un error cuadrático medio de 0.0125, asimismo una diferencia mínima de -0.099 kg/cm^2 y diferencia máxima 0.229 kg/cm^2 que equivale al error de -0.2886% y 0.6859% respectivamente.

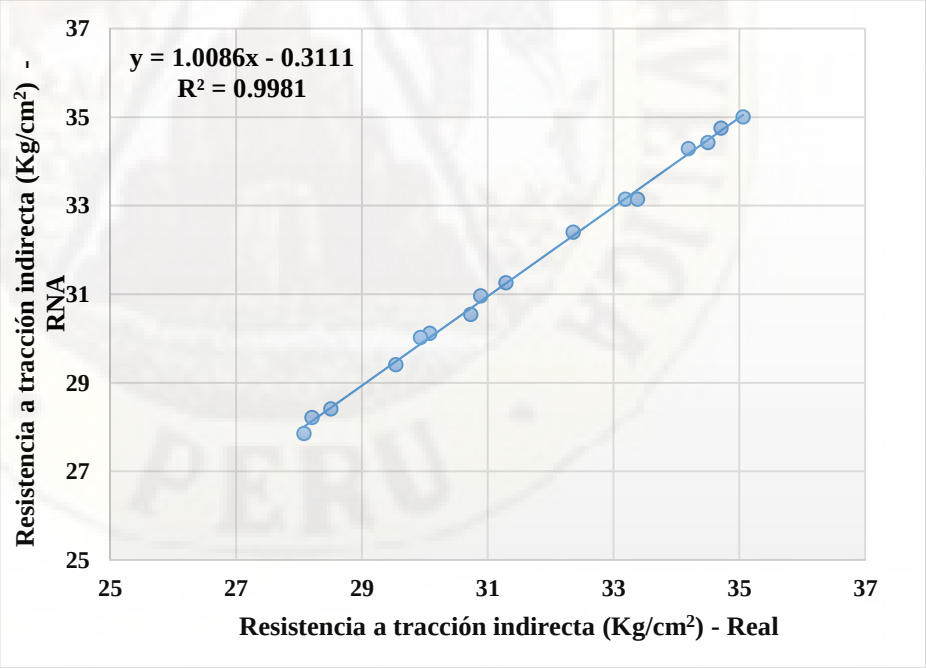


Figura 34. Resistencia a tracción indirecta real vs predicción por red neuronal 14.
Fuente: elaboración propia.

En la figura 34, presentan la dispersión de la resistencia a tracción indirecta real y resistencia a tracción indirecta pronosticada por la red neuronal14.

Se trazó una línea recta de tendencia formada por la ecuación Y=1.0086X-0.3111 donde la variable X es la resistencia a tracción indirecta real, Y es la resistencia a tracción indirecta estimada con un coeficiente R^2=0.9981.

4.1.9.6 Análisis comparativo de los resultados de las redes neuronales artificiales

En la tabla 42, se muestra los valores de la resistencia a tracción indirecta real y estimado: red neuronal 11 y red neuronal 14 con sus respectivos errores relativos medios.

Tabla 42:

Las resistencias a tracción indirecta real y estimaciones de las redes neuronales artificiales.

Código	Fibra de acero (Kg/m^3)	Resistencia a tracción indirecta (Kg/cm^2) - Real	Red neuronal 11 (Kg/cm^2)	Red neuronal 14 (Kg/cm^2)
P-16	0	28.21	28.257	28.219
F30-16	30	30.08	30.118	30.116
F50-16	50	32.36	32.353	32.405
F70-15	70	33.19	33.219	33.151
P-17	0	29.93	29.974	30.022
F30-17	30	30.89	31.073	30.962
F50-17	50	34.71	34.729	34.754
F70-17	70	34.19	34.269	34.289
P-18	0	28.51	28.434	28.414
F30-18	30	30.73	30.579	30.544
F50-18	50	31.29	31.319	31.263
F70-18	70	35.06	35.045	35.005
P-19	0	28.08	27.899	27.858
F30-19	30	29.54	29.320	29.414
F50-19	50	34.5	34.452	34.430
F70-19	70	33.38	33.219	33.151
Error relativo medio (%)			**0.2708**	**0.2908**

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla 42 se aprecia que el comportamiento de las redes neuronales es equivalente numéricamente, la red neuronal 11 tiene un error mínimo de 0.2708% con ello se ajusta más a la resistencia a tracción indirecta real. Un valor adecuado para afirmar que es un

modelo aceptable tanto en el proceso de aprendizaje como en proceso de predicción para obtener la resistencia a tracción indirecta.

En la siguiente tabla, se muestra el resumen de las ecuaciones y R^2 de las 2 redes neuronales seleccionado.

Tabla 43:

Resumen de ecuaciones lineales y coeficiente de determinación (R^2).

Red	Ecuación	R^2	R	Error relativo medio (%)
Red neuronal 11	Y=1.0095X-0.3238	0.9981	0.99932	0.2708
Red neuronal 14	Y=1.0086X-0.3111	0.9981	0.99922	0.2908

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla 43 del resumen se concluye que los coeficiente de determinación R^2 de los modelos de red neuronal son iguales, pero en la tabla 38 (Resultado de las diferentes arquitecturas del entrenamiento) se exhibe mayor coeficiente de correlación Pearson R de la red neuronal 11 con un valor de R=0.99932, por lo tanto se concluye que la red neuronal 11 posee alta correlación con respecto a la Red neuronal 14, con error relativo medio de 0.2708% y coeficiente de determinación de R^2=0.9981 para la predicción de la resistencia a tracción indirecta, descartando los demás modelos.

4.1.9.7 Parámetros estadísticos de la resistencia a tracción indirecta del concreto f'c=210 Kg/cm^2 obtenidos de la red neuronal 11

Tabla 44:

Registro de resistencia a tracción del concreto según las diferentes cantidades de adición de fibra de acero obtenido de la red neuronal 11.

Número de repeticiones	Tiempo de curado	Unidad	Cantidad de fibra de acero añadida al concreto			
			0 Kg/m^3	30 Kg/m^3	50 Kg/m^3	70 Kg/m^3
1	28 Días	Kg/cm^2	28.257	30.118	32.353	33.219
2	28 Días	Kg/cm^2	29.974	31.073	34.729	34.269
3	28 Días	Kg/cm^2	28.434	30.579	31.319	35.045
4	28 Días	Kg/cm^2	27.899	29.320	34.452	33.219

Fuente: elaboración propia.

Tabla 45:
Indicadores estadísticos de resistencia a tracción indirecta del concreto f'c=210 Kg/cm² obtenido de la red neuronal 11.

Parámetros estadísticos	Cantidad de fibra de acero añadida al concreto				Unidad
	0 Kg/m³	30 Kg/m³	50 Kg/m³	70 Kg/m³	
Media	28.641	30.273	33.213	33.938	Kg/cm²
Mediana	28.345	30.348	33.402	33.743	Kg/cm²
Desviación estándar	0.916	0.745	1.649	0.889	Kg/cm²
Varianza	0.839	0.555	2.719	0.790	Kg/cm²
Mínimo	27.899	29.320	31.319	33.219	Kg/cm²
Máximo	29.974	31.073	34.729	35.045	Kg/cm²
Rango	2.075	1.753	3.409	1.826	Kg/cm²

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 45 observamos los parámetros estadísticos de la resistencia a tracción indirecta del concreto f'c =210 Kg/cm² para el concreto con adición de fibras de acero y concreto convencional, obtenidas de las Redes Neuronales Artificiales RNA, en la cual notamos que el valor promedio de la resistencia a tracción indirecta del concreto convencional sin fibras de acero (patrón) es de 28.64 Kg/cm² con una variación de 0.91 Kg/cm² y el promedio de la resistencia a tracción indirecta del concreto con incorporación de fibra de acero en cantidades de 30 Kg/m³, 50 Kg/m³ y 70 Kg/m³ es 30.27 Kg/cm², 33.21Kg/cm² y 33.94 Kg/cm² con una variación de 0.74 Kg/cm², 1.65 Kg/cm²y 0.89 Kg/cm² respectivamente, donde notamos que los promedios de las resistencias a tracción indirecta del concreto con adición de fibras de acero supera la resistencia a tracción indirecta del concreto convencional; por lo tanto la adición de fibras de acero al concreto influye en la resistencia a tracción indirecta del concreto.

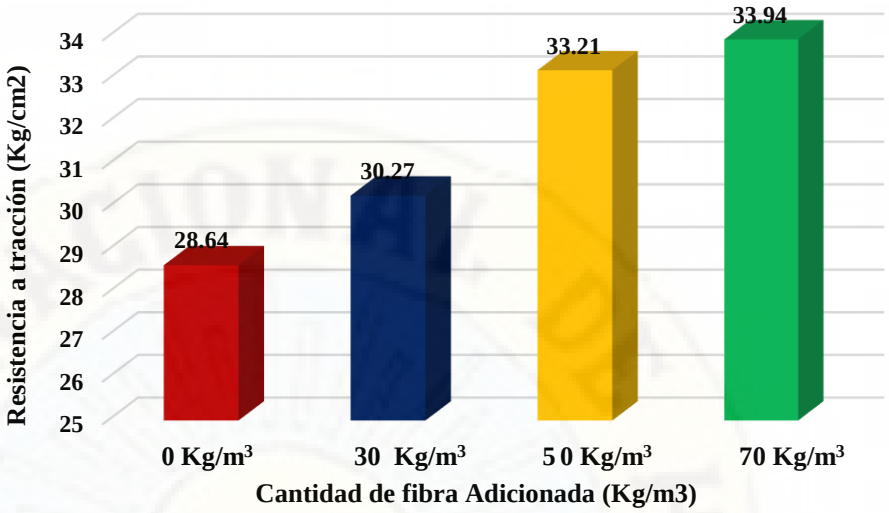


Figura 35. Resistencia promedia a tracción indirecta según las diferentes adiciones de fibra de acero al concreto obtenido de la red neuronal 11.
Fuente: elaboración propia.

Se aprecian los resultados de los promedios de la resistencia a tracción indirecta del concreto a los 28 días, obtenidos de las redes neuronales artificiales, según las diferentes cantidades adicionadas de fibra de acero al concreto, cuyos promedios muestran una tendencia a aumentar la resistencia a tracción debido a la adición de fibra de acero, con respecto al concreto patrón, de manera que influye la adición de fibra de acero al concreto.

Tabla 46:
Variación porcentual de la resistencia a tracción indirecta debido a la influencia de la fibra de acero, respecto al concreto patrón obtenido de la red neuronal 11.

Cantidad de fibra de acero (Kg/m^3)	Resistencia a tracción (Kg/cm^2)	Incremento en porcentaje (%)
0 Kg/m^3	28.64	0.00 %
30 Kg/m^3	30.27	6.74 %
50 Kg/m^3	33.21	17.11 %
70 Kg/m^3	33.94	19.67 %

Fuente: elaboración propia

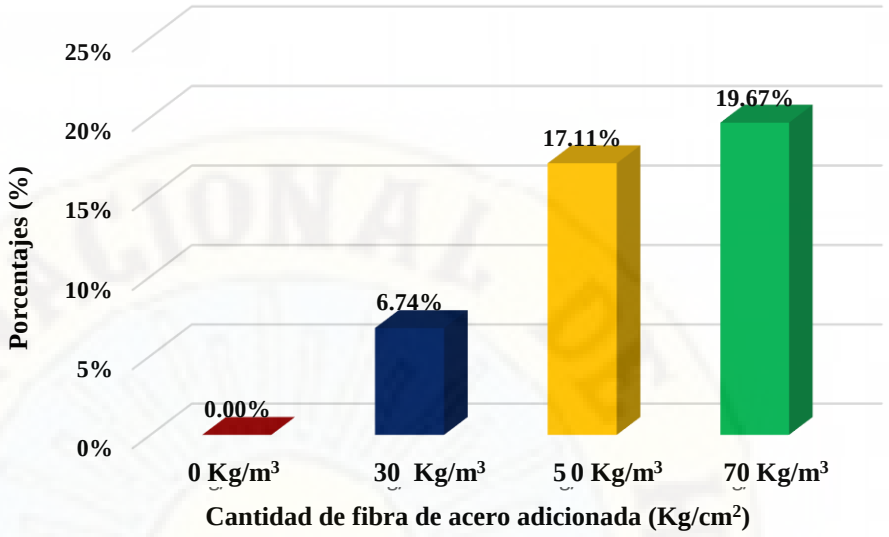


Figura 36. Variación porcentual de la Resistencia a tracción indirecta debido a la influencia de la fibra de acero, respecto al concreto patrón obtenido de la red neuronal 11.
Fuente: elaboración propia.

La resistencia a tracción indirecta del concreto obtenido de la red neuronal 11, se incrementó en 6.74 %, 17.11 %, y 19.67% adicionando 30 Kg/m^3, 50 Kg/m^3 y 70 Kg/m^3 de fibra de acero al concreto respectivamente respecto al concreto patrón. En la figura se observa que a medida que se aumenta la cantidad de fibra de acero la resistencia a tracción aumenta respecto a la resistencia a tracción del concreto sin fibra (concreto patrón).

4.2. Prueba de hipótesis

Para evaluar los resultados obtenidos se utilizó el Diseño Completamente al Azar (DCA) con 4 repeticiones de resistencia a tracción indirecta al concreto y 4 tratamientos de cantidad de fibra adicionada al concreto, que se obtuvieron de las predicciones de las resistencias a tracción indirecta del concreto mediante redes neuronales artificiales.

Tabla 47:

Registro de predicciones de las resistencias a tracción indirecta del concreto de la red neuronal artificial 11.

Tratamientos	Repeticiones				Promedio
	1	2	3	4	
0 kg/m³	28.257	29.974	28.434	27.899	28.64
30 kg/m³	30.118	31.073	30.579	29.32	30.27
50 kg/m³	32.353	34.729	31.319	34.452	33.21
70 kg/m³	33.219	34.269	35.045	33.219	33.94

Fuente: RNA, elaboración propia.

Para realizar la homogeneidad de varianza se utilizó la prueba de Hartley o de F-Max, dicha prueba consiste en calcular la siguiente expresión cuando el número de repeticiones es igual en todos los tratamientos (López y Gónzales, 2014).

$$\mathrm{H_c} = \frac{\sigma_i^2(\text{máx.})}{\sigma_i^2(\text{mín.})}; i = 1, 2, 3 \ldots, t$$

Donde:

t: es igual al número de tratamientos,

σ_i^2: es la varianza muestral.

En dicha expresión reemplazamos el valor máximo y mínimo seleccionado de la varianza muestral (σ^2) de los cuatro tratamientos de la tabla 45 (Indicadores estadísticos de resistencia a tracción indirecta del concreto f'c=210 Kg/cm^2 obtenido de la Red neuronal 11.), siendo la varianza del tratamiento con adición de 50 Kg/m^3 de fibras de acero el máximo igual a $\sigma_i^2 = 2.72$, y la varianza del tratamiento con adición de 30 Kg/m^3 de fibra de acero el mínimo igual a $\sigma_i^2 = 0.56$, entonces H_c = 4.86 y H_t tabulado de la tabla de Hartley con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$, con número de tratamientos igual a k = 4 y numero de repeticiones igual a n-1 = 3 es $H_{(0.05,4,3)}$ = 39.2. Como $\mathbf{H_c < H_t}$, se concluye que existe homogeneidad de varianzas, entonces se procede al análisis de varianza.

Para realizar la prueba de hipótesis se realizó con la ayuda del software SAS Studio Edition University.

4.2.1 Hipótesis especifica

❖ **Planteamiento de la hipótesis especifica 1**

Hipótesis nula (H_0): La adición de **30** kg/m^3 de fibras de acero no influyen significativamente en la resistencia a tracción indirecta del concreto mediante redes neuronales artificiales .

Hipótesis alterna (H_1): La adición de **30** kg/m^{3}de fibras de acero si influyen significativamente en la resistencia a tracción indirecta del concreto mediante redes neuronales artificiales .

El análisis estadístico se realizó con un nivel de significancia de 5% y 95 % de nivel de confianza.

Tabla 48:

Análisis de varianza con prueba F de la resistencia a tracción indirecta del concreto patrón y concreto con adición de 30 kg/m^3 de fibras de acero.

Origen	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Modelo	1	5.3235845	5.3235845	7.63	0.0327
Error	6	4.183627	0.69727117		
Total corregido	7	9.5072115			

Fuente: SAS Studio Edition University, elaboración propia.

Respecto al análisis de la varianza ANOVA con la aplicación de la prueba F, examinamos el nivel de significancia hallado Pr = 0.0327 es menor a 0.05, por lo cual rechazamos la hipótesis nula (H_0) y aceptamos la hipótesis alterna (H_1), de igual manera con un nivel de significancia de 0.05, grados de libertad del tratamiento (gl trat) igual a 1 y grado de libertad del error (gl error) igual a 6 el valor de Fisher (F crítico $_{(1, 6, 0.05)}$) de la tabla de Fisher es 5.99 y F calculado es 7.63, por lo tanto $F_{Calculado} > F_{Crítico}$ entonces se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_1) verificándose que "La adición de 30 kg/m^3 de fibras de acero si influyen significativamente en la resistencia a tracción indirecta del concreto mediante redes neuronales artificiales ".

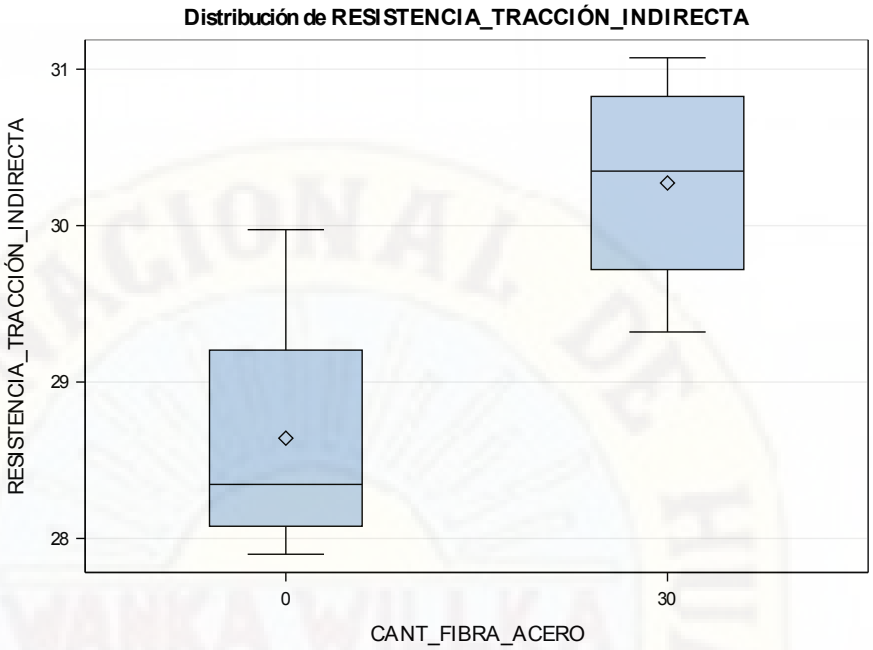


Figura 37. Diagrama de cajas de la resistencia a tracción indirecta del concreto patrón y concreto con adición de 30 kg/m^3 de fibras de acero.
Fuente: SAS Studio Edition University, elaboración propia.

Se observa que en el diagrama de cajas que no existe algún valor atípico de la resistencia a tracción indirecta del concreto; comparando las medias de las resistencias a tracción indirecta del concreto con incorporación de 30 kg/m^3 de fibras de acero se obtuvo el promedio de 30.27 kg/cm^2 obtenidos mediante Redes neuronales artificiales y el concreto convencional o concreto sin fibra de acero (0 kg/m^3) el promedio de 28.66 kg/cm^2 obtenidos mediante Redes neuronales artificiales , el que mayor resistencia a tracción adquirió es el concreto con incorporación de fibras de acero en cantidad de 30 kg/m^3 y los valores de la resistencia tracción indirecta del concreto con incorporación de 30 kg/m^3 de fibra de acero tiene menor dispersión que el concreto patrón, es decir el rango de valores es menor que el concreto patrón.

Tabla 49:

Prueba del rango estudentizado de Tukey de la resistencia a tracción indirecta del concreto patrón y concreto con adición de 30 kg/m^3 de fibras de acero.

Alpha	0.05
Grados de error de libertad	6
Error de cuadrado medio	0.697271
Valor crítico del rango estudentizado	3.46041

Diferencia significativa mínima	1.4448

Fuente: SAS Studio Edition University, elaboración propia.

La diferencia mínima significativa es $\Delta = 1.4448$ a un nivel de significancia $\alpha = 0.05$, observamos en la matriz de diferencia en cada columna y notamos que la diferencia entre el par de medias $d_{i\text{-}i'}$ =1.63 es mayor que la diferencia mínima significativa $d_{i\text{-}i'} > \Delta$, entonces significa que existe diferencias significativas entre el par de los tratamientos.

Tabla 50:

Matriz de diferencias entre el par de medias del concreto patrón y concreto con adición de 30 Kg/m³ de fibras de acero.

Fibra de acero		**30 Kg/m³**	**0 Kg/m³**
	Medias	**30.27**	**28.64**
0 Kg/m³	**28.64**	1.63	-
30 Kg/m³	**30.27**	-	

Fuente: elaboración propia.

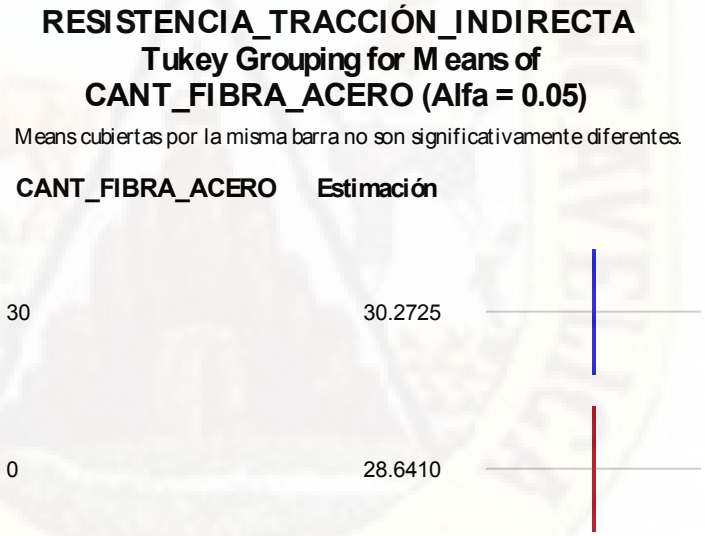


Figura 38. Agrupamiento de Tukey del concreto patrón y concreto con adición de 30 Kg/m³ de fibras de acero.
Fuente: SAS Studio Edition University, elaboración propia.

Las medias no están conectadas mediante la misma barra, por consiguiente el par de medias difieren significativamente.

En el grafico se concluye que la cantidad de fibra de acero adicionada que proporciono mayor resistencia a tracción indirecta del concreto es la adición de fibra de acero en cantidad de 30 Kg/m³ de concreto.

- **Planteamiento de la hipótesis especifica 2**

Hipótesis nula (H_0): La adición de **50** kg/m^3 de fibras de acero no influyen significativamente en la resistencia a tracción indirecta del concreto mediante redes neuronales artificiales.

Hipótesis alterna (H_1): La adición de **50** kg/m^3 de fibras de acero si influyen significativamente en la resistencia a tracción indirecta del concreto mediante redes neuronales artificiales.

El análisis estadístico se realizó con un nivel de significancia de 5% y 95 % de nivel de confianza.

Tabla 51:

Análisis de varianza con prueba F de la resistencia a tracción indirecta del concreto patrón y concreto con adición de 50 kg/m^3 de fibras de acero.

Origen	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Modelo	1	41.81094012	41.81094012	23.49	0.0029
Error	6	10.67797075	1.77966179		
Total corregido	7	52.48891087			

Fuente: SAS Studio Edition University, elaboración propia.

El análisis de la varianza ANOVA con la aplicación de la prueba F, examinamos el nivel de significancia hallado Pr = 0.0029 es menor a 0.05, por lo cual rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alterna, de otra manera con un nivel de significancia de 0.05, grados de libertad del tratamiento (gl trat) igual a 1 y grado de libertad del error (gl error) igual a 6 el valor de Fisher (F crítico $_{(1, 6, 0.05)}$) de la tabla de Fisher es 5.99 y F calculado es 23.49, por lo cual $F_{Calculado} > F_{Crítico}$ entonces se rechaza la hipótesis nula H_0 y se acepta la hipótesis alterna H_1 verificándose que "La adición de 50 kg/m^3 de fibras de acero si influyen significativamente en la resistencia a tracción indirecta del concreto mediante redes neuronales artificiales ".

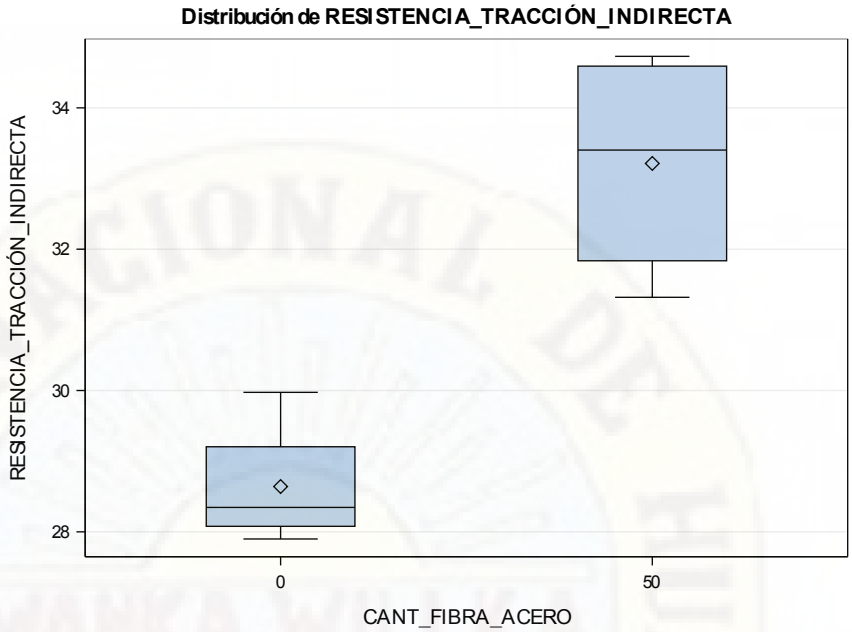


Figura 39. Diagrama de cajas de la resistencia a tracción indirecta del concreto patrón y concreto con adición de 50 kg/m^3 de fibras de acero.
Fuente: SAS Studio Edition University, elaboración propia.

Se observa que en el diagrama de cajas que no existe algún valor atípico de la resistencia a tracción indirecta del concreto; comparando las medias de las resistencias a tracción indirecta del concreto sin incorporación de fibra de acero (0 kg/m^3) que obtuvo 28.64 kg/cm^2 obtenidos mediante Redes neuronales artificiales y el concreto con incorporación de 50 kg/m^3 de fibras de acero que obtuvo un promedio de 33.21 kg/cm^2 , el que mayor resistencia a tracción indirecta adquirió es el concreto con incorporación de fibra de acero en cantidad de 50 kg/m^3 y los valores de la resistencia tracción indirecta del concreto con incorporación de 50 kg/m^3 de fibra de acero tiene mayor dispersión que el concreto patrón, es decir el rango de valores es mayor que el concreto patrón.

Tabla 52:

Prueba del rango estudentizado de Tukey de la resistencia a tracción indirecta del concreto patrón y concreto con adición de 50 kg/m^3 de fibras de acero.

Alpha	0.05
Grados de error de libertad	6
Error de cuadrado medio	1.779662
Valor crítico del rango estudentizado	3.46041
Diferencia significativa mínima	2.3082

Fuente: SAS Studio Edition University, elaboración propia.

La diferencia mínima significativa es $\Delta = 2.3082$ a un nivel de significancia $\alpha = 0.05$, y la diferencia entre el par de medias es $d_{i-i'}$ = 4.52 de la matriz de diferencia entre todos los posibles pares de medias, por lo tanto la diferencia entre el par de medias $d_{i-i'}$ es mayor que la diferencia mínima significativa $d_{i-i'} > \Delta$, entonces significa que existe diferencias significativas entre el par de los tratamientos.

Tabla 53:
Matriz de diferencias entre el par de medias del concreto patrón y concreto con adición de 50 Kg/m³ de fibras de acero.

Fibra de acero		50 Kg/m³	0 Kg/m³
	Medias	**30.21**	**28.64**
0 Kg/m³	**28.64**	4.57	-
50 Kg/m³	**33.21**	-	

Fuente: elaboración propia.

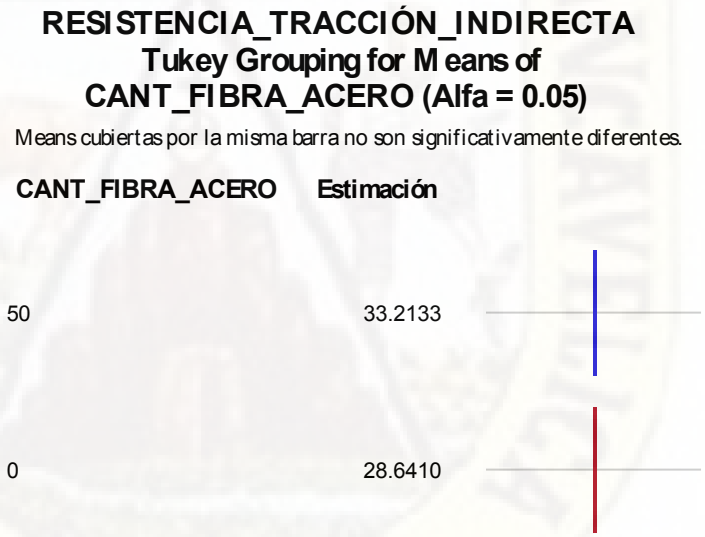


Figura 40. Agrupamiento de Tukey del concreto patrón y concreto con adición de 50 Kg/m³ de fibras de acero.
Fuente: SAS Studio Edition University, elaboración propia.

En la figura las medias no están conectadas mediante la misma barra, por consiguiente el par de medias difieren significativamente.

- **Planteamiento de la hipótesis especifica 3**

Hipótesis nula (H_0): La adición de **70** kg/m³ de fibras de acero no influyen significativamente en la resistencia a tracción indirecta del concreto mediante redes neuronales artificiales.

Hipótesis alterna (H_0): La adición de **70** kg/m^3 de fibras de acero si influyen significativamente en la resistencia a tracción indirecta del concreto mediante redes neuronales artificiales.

El análisis estadístico se realizó con un nivel de significancia de 5% y 95 % de nivel de confianza.

Tabla 54:

Análisis de varianza con prueba F de la resistencia a tracción indirecta del concreto patrón y concreto con adición de 70 kg/m^3 de fibras de acero.

Origen	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Modelo	1	56.116418	56.116418	68.9	0.0002
Error	6	4.88669	0.81444833		
Total corregido	7	61.003108			

Fuente: SAS Studio Edition University, elaboración propia.

El análisis de la varianza ANOVA con la aplicación de la prueba F, examinamos el nivel de significancia hallado Pr = 0.0002 es menor a 0.05, por lo tanto rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alterna, de igual manera con un nivel de significancia de 0.05, grados de libertad del tratamiento (gl trat) igual a 1 y grado de libertad del error (gl error) igual a 6 el valor de Fisher (F crítico $_{(1, 6, 0.05)}$) de la tabla de Fisher es 5.99 y F calculado es 68.9, por lo cual $F_{Calculado} > F_{Crítico}$ entonces se rechaza la hipótesis nula H_0 y se acepta la hipótesis alterna H_1 verificándose que "La adición de 70 kg/m^3 de fibras de acero si influyen significativamente en la resistencia a tracción indirecta del concreto mediante redes neuronales artificiales ".

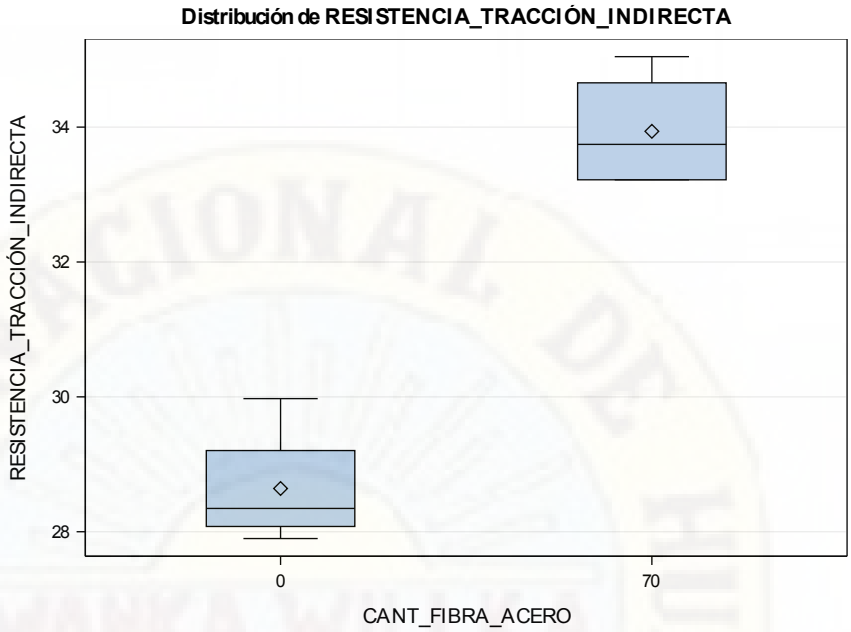


Figura 41. Diagrama de cajas de la resistencia a tracción indirecta del concreto patrón y concreto con adición de 70 kg/m^3 de fibras de acero.
Fuente: SAS Studio Edition University, elaboración propia.

En el diagrama de cajas no existe algún valor atípico de la resistencia a tracción indirecta del concreto; comparando las medias de las resistencias a tracción indirecta del concreto sin incorporación de fibra de acero que obtuvo un promedio de 28.64 kg/cm^2 obtenidos mediante Redes neuronales artificiales y el concreto con incorporación de 70 kg/m^3 de fibras de acero con 33.94 kg/cm^2 obtenidos mediante Redes neuronales artificiales , el que mayor resistencia a tracción indirecta adquirió es el concreto con adición de 70 kg/m^3 de fibras de acero, y los valores de la resistencia tracción indirecta del concreto con incorporación de 70 kg/m^3 de fibra de acero tiene menor dispersión que el concreto patrón o concreto sin fibras de acero, es decir el rango de valores es menor que el concreto patrón.

Tabla 55:
Prueba del rango estudentizado de Tukey de la resistencia a tracción indirecta del concreto patrón y concreto con adición de 70 kg/m^3 de fibras de acero.

Alpha	0.05
Grados de error de libertad	6
Error de cuadrado medio	0.814448
Valor crítico del rango estudentizado	3.46041

Diferencia significativa mínima	1.5615

Fuente: SAS Studio Edition University, elaboración propia.

La diferencia mínima significativa es $\Delta = 1.5615$ a un nivel de significancia $\alpha = 0.05$, la diferencia entre el par de medias es $d_{i\text{-}i'} = 5.30$ de la matriz de diferencia entre todos los posibles pares de medias, por lo tanto la diferencia entre el par de medias $d_{i\text{-}i'}$ es mayor que la diferencia mínima significativa $d_{i\text{-}i'} > \Delta$, entonces significa que existe diferencias significativas entre el par de los tratamientos.

Tabla 56:

Matriz de diferencias entre el par de medias del concreto patrón y concreto con adición de 70 Kg/m³ de fibras de acero.

Fibra de acero		**70 Kg/m³**	**0 Kg/m³**
	Medias	**33.94**	**28.64**
0 Kg/m³	**28.64**	5.30	-
70 Kg/m³	**33.94**	-	

Fuente: elaboración propia.

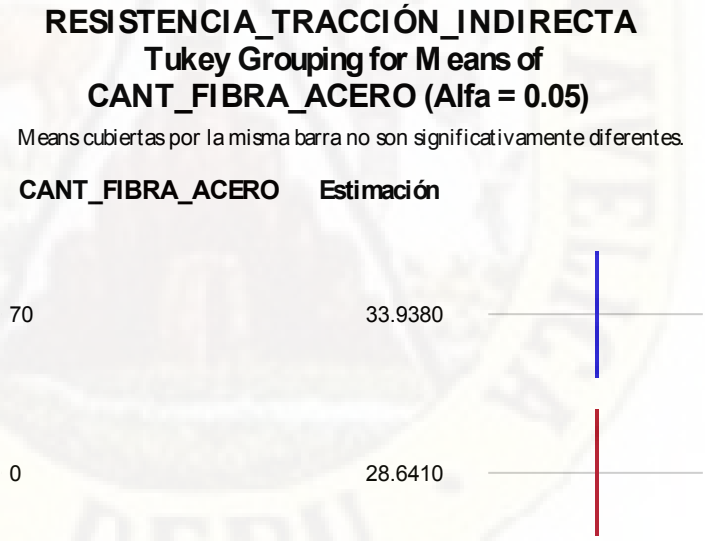


Figura 42. Agrupamiento de Tukey del concreto patrón y concreto con adición de 70 Kg/m³ de fibras de acero.
Fuente: SAS Studio Edition University, elaboración propia.

En la figura las medias no están conectadas mediante la misma barra, por consiguiente el par de medias difieren significativamente.

En el grafico se concluye que la cantidad de fibra de acero adicionada que proporciono mayor resistencia a tracción indirecta del concreto es la adición de fibra de acero en cantidad de 70 Kg/m³ de concreto.

4.2.2 Hipótesis general

- **Planteamiento de la hipótesis general**

Hipótesis nula (H_0): Las fibras de acero no influyen significativamente en la resistencia a tracción indirecta del concreto mediante redes neuronales artificiales.

Hipótesis alterna (H_1): Las fibras de acero si influyen significativamente en la resistencia a tracción indirecta del concreto mediante redes neuronales artificiales.

Tabla 57:

Análisis de varianza con prueba F de la resistencia a tracción indirecta del concreto patrón y concreto con adición de fibras de acero.

Origen	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Modelo	3	74.23463469	24.74487823	20.18	<.0001
Error	12	14.71277175	1.22606431		
Total corregido	15	88.94740644			

Fuente: SAS Studio Edition University, elaboración propia.

El análisis de la varianza ANOVA con la aplicación de la prueba F, examinamos el nivel de significancia hallado Pr = 0.0001 es menor a 0.05, por lo tanto rechazamos la hipótesis nula (H_0) y aceptamos la hipótesis alterna (H_1), de igual manera con un nivel de significancia de 0.05, grados de libertad del tratamiento (gl trat) igual a 3 y grado de libertad del error (gl error) igual a 12 el valor de Fisher ($F_{crítico\ (3,\ 12,\ 0.05)}$) de la tabla de Fisher es 3.49 y F calculado es 20.18, por lo cual $F_{Calculado} > F_{Crítico}$ entonces se rechaza la hipótesis nula H_0 y se acepta la hipótesis alterna H_1 verificándose que "Las fibras de acero si influyen significativamente en la resistencia a tracción indirecta del concreto mediante redes neuronales artificiales ".

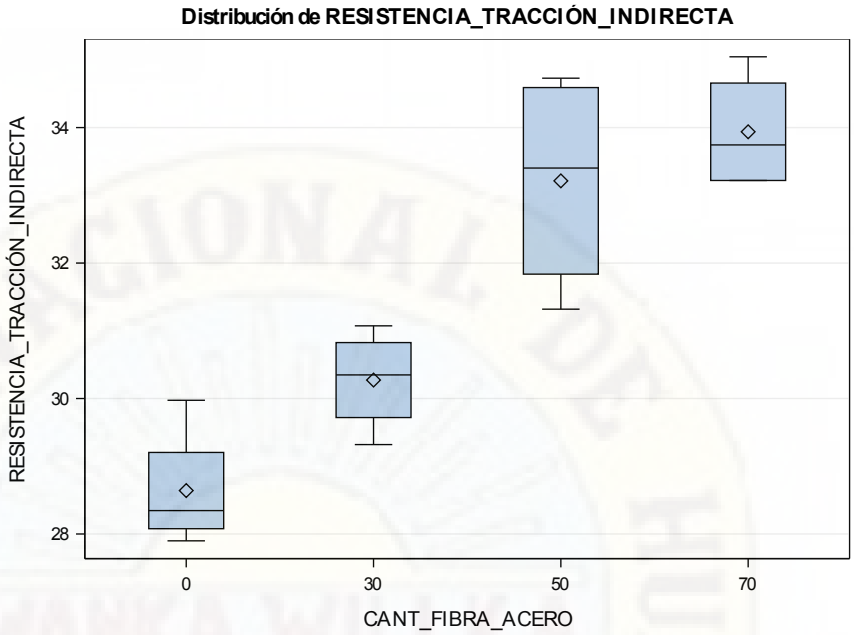


Figura 43. Diagrama de cajas de la resistencia a tracción indirecta del concreto patrón y concreto con adición de fibras de acero.
Fuente: SAS Studio Edition University, elaboración propia.

Se observa que en el diagrama de cajas que no existe algún valor atípico de la resistencia a tracción indirecta del concreto; comparando las medias de las resistencia a tracción indirecta del concreto con los diferentes tratamientos de incorporaciones de fibra de acero a la mezcla de concreto en diferentes cantidades de 30 kg/m^3 , 50 kg/m^3 y 70 kg/m^3 y el concreto patrón o concreto sin incorporación de fibra de acero (0 kg/m^3) el que mayor resistencia a tracción adquirió es el concreto con incorporación de fibra de acero en cantidad de 70 kg/m^3 con una resistencia a tracción indirecta de 33.94 kg/cm^2, y los valores de la resistencia tracción indirecta del concreto con incorporación de 50 kg/m^3 de fibra de acero tiene mayor dispersión que el resto, es decir el rango de valores es mayor que los demás.

Tabla 58:

Prueba del rango estudentizado de Tukey de la resistencia a tracción indirecta del concreto patrón y concreto con adición de fibras de acero.

Alpha	0.05
Grados de error de libertad	12
Error de cuadrado medio	1.226064
Valor crítico del rango estudentizado	4.19851
Diferencia significativa mínima	2.3245

Fuente: SAS Studio Edition University, elaboración propia.

La diferencia mínima significativa es $\Delta = 2.3245$ a un nivel de significancia $\alpha = 0.05$, observamos en la matriz de diferencias todas las columnas, si $d_{i-i'} > \Delta$, entonces significa que existe diferencias significativas entre los pares de los tratamientos. Ponemos un asterisco para dichas diferencias

Tabla 59:
Matriz de diferencias entre todos los posibles pares de medias del concreto patrón y concreto con adición de fibras de acero.

Fibra de acero		**70 Kg/m³**	**50 Kg/m³**	**30 Kg/m³**	**0 Kg/m³**
	Medias	33.94	33.21	30.27	28.64
0 Kg/m³	28.64	5.30 *	4.57 *	1.63	-
30 Kg/m³	30.27	3.64 *	2.94 *	-	
50 Kg/m³	33.21	0.72	-		
70 Kg/m³	33.94	-			

Fuente: elaboración propia.

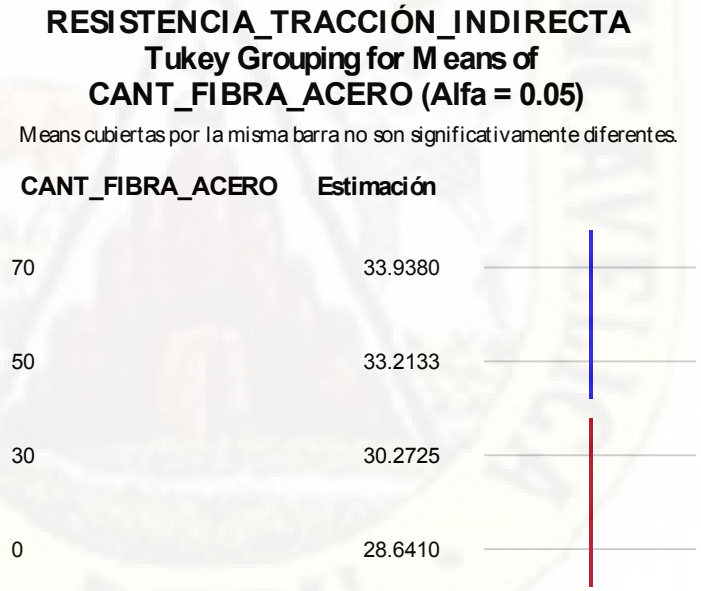


Figura 44. Agrupamiento de Tukey del concreto patrón y concreto con adición de fibras de acero.
Fuente: SAS Studio Edition University, elaboración propia.

Las medias que están conectados mediante la misma barra no muestran diferencias significativas, es decir que no difieren significativamente.

En el gráfico se concluye que la cantidad de fibra de acero que proporcionó mayor resistencia a tracción indirecta del concreto es la adición de fibra de acero en cantidad de 70 Kg/m^3 de concreto.

4.3. Discusión de resultados

- El diseño de mezcla del concreto fue de f'c = 210 Kg/cm^2 con el método ACI (Instituto Americano del Concreto) y consistencia plástica.
- Los valores promedios de la resistencia a tracción indirecta del concreto convencional (patrón), concreto con adición de fibras de acero en dosificaciones de 30 kg/m^3, 50 kg/m^3 y 70 kg/m^3 es 28.36 kg/m^2, 30.58 kg/m^2, 32.98 kg/m^2 y 34.13 kg/m^2 respectivamente, se observa que aumenta la resistencia a tracción indirecta del concreto con adición de fibras de acero respecto al concreto convencional.
- La resistencia a tracción indirecta del concreto se incrementó en 7.83 %, 16.29 %, y 20.35% adicionando 30 Kg/m^3, 50 Kg/m^3 y 70 Kg/m^3 de fibra de acero al concreto respectivamente respecto al concreto convencional (concreto patrón), se observa que a medida que se incrementa las fibras de acero al concreto la resistencia a tracción indirecta aumenta respecto al concreto patrón.
- El asentamiento disminuye a medida que se aumenta la cantidad de fibras de acero al concreto convencional (patrón) de 3.7'' a 3.07'', 0.79'' y 0.20'' con adición de fibras de acero en cantidades de 30 kg/m^3, 50 kg/m^3 y 70 kg/m^3 respectivamente, es decir existe una disminución en la trabajabilidad al aumentar la cantidad de fibras de acero.
- Utilizando las Redes neuronales artificiales RNA se obtuvo la resistencia a tracción indirecta promedia del concreto convencional (patrón) de 28.64 Kg/cm^2, de la misma manera con adición de fibras de acero en cantidades de 30 Kg/m^3, 50 Kg/m^3 y 70 Kg/m^3 se obtuvo resistencia a tracción indirecta promedia de 30.27 Kg/cm^2, 33.21 Kg/cm^2 y 33.94 Kg/cm^2 respectivamente, por lo tanto la adición de fibras de acero influye en la resistencia a tracción indirecta del concreto.
- La resistencia a tracción indirecta del concreto con el modelo de la red neuronal 11, se incrementó en 6.74 %, 17.11 %, y 19.67% adicionando 30 Kg/m^3, 50 Kg/m^3 y 70 Kg/m^3 de fibra de acero al concreto respectivamente respecto al concreto patrón.

- Las fibras de acero influyen significativamente en la resistencia a tracción indirecta del concreto, tanto en la modelo de las redes neuronales artificiales (RNA) como en los resultados de laboratorio.
- El tipo de red neuronal que se utilizo es el perceptrón multicapa, el modelo es la Feed-forward, algoritmo de aprendizaje backpropagatión y arquitectura multicapa, con una función de entrenamiento basado en el algoritmo de Levenberg Marquardt (TRAINLM), con una función de aprendizaje del gradiente descendente (LEARNGDM) y la función de activación por TANSIG. Los modelos fueron evaluados, utilizando indicadores de desempeño como el coeficiente de correlación R, coeficiente de determinación (R^2) y error relativo en la etapa de entrenamiento y prueba.
- El modelo de la Red neuronal Artificial que estima de forma aproximada la resistencia a la tracción indirecta del concreto es la Red neuronal 11, obteniendo en la etapa de entrenamiento un coeficiente de Pearson R = 0.99932 y en la etapa de simulación un coeficiente de determinación R^2 = 0.9981, por lo cual se concluye una correcta estimación de la resistencia a tracción indirecta del concreto, diseñado por los investigadores con adición de fibras de acero de 0 kg/m^3, 30 kg/m^3, 50 kg/m^3 y 70 kg/m^3.

CONCLUSIONES

- La adición de fibras de acero si influyen significativamente en la resistencia a tracción indirecta del concreto mediante redes neuronales artificiales, puesto que la adición de fibras de acero en cantidades de 30 kg/m^3, 50 kg/m^3 y 70 kg/m^3 aumentaron la resistencia a tracción indirecta del concreto respecto al concreto convencional o concreto sin fibras de acero, debido a que las fibras de acero actúan como una armadura tridimensional otorgándole ductilidad al concreto.
- La adición de 30 kg/m^3 de fibras de acero si influyen significativamente en la resistencia a tracción indirecta del concreto mediante redes neuronales artificiales, dado que la resistencia a tracción indirecta del concreto con adición de 30 kg/m^3 de fibras de acero se incrementó 6.74 % respecto a la resistencia a tracción indirecta del concreto patrón.
- La adición de 50 kg/m^3 de fibras de acero si influyen significativamente en la resistencia a tracción indirecta del concreto mediante redes neuronales artificiales, dado que la resistencia a tracción indirecta del concreto con adición de 50 kg/m^3 de fibras de acero se incrementó 17.11 % respecto a la resistencia a tracción indirecta del concreto patrón.
- La adición de 70 kg/m^3 de fibras de acero si influyen significativamente en la resistencia a tracción indirecta del concreto mediante redes neuronales artificiales, dado que la resistencia a tracción indirecta del concreto con adición de 70 kg/m^3 de fibras de acero se incrementó 19.67 % respecto a la resistencia a tracción indirecta del concreto patrón.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda en futuras investigaciones uso de aditivos superplastificantes o reductores de agua de alto rango con el objetivo de otorgar trabajabilidad al concreto en estado fresco al adicionar fibras de acero.
- Se recomienda aumentar la cantidad de ensayos de resistencia a tracción indirecta y aumentar el número de dosificaciones de fibras de acero para obtener una red neuronal de mayor precisión.
- Se recomienda variar las capas ocultas con diferentes neuronas, tipos de red, funciones de aprendizaje y funciones de activación de las neuronas.
- Se recomienda usar diferentes formas y dimensiones de fibras de acero para obtener el comportamiento del concreto reforzado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

Abanto, F. (2009). *Tecnología del Concreto* (Segunda ed.). Lima, Perú: San Marcos.

Arias, F. G. (2012). *El proyecto de investigacion (Introduccion a la metodología científica)* (Sexta ed.). Caracas, República Bolivariana de Venezuela: Episteme.

Basogain, X. (2008). *Redes neuronales artificiales y sus aplicaciones.* Bilbao, España. Obtenido de https://ocw.ehu.eus/pluginfile.php/9047/mod_resource/content/1/redes_neuro/Course_listing.html

Caicedo, E., & López, J. A. (2017). *Una aproximación práctica a las Redes neuronales artificiales* . Cali: Colombia.

Carrasco, S. (2005). *Metodología de la investigación científica* (Primera ed.). Lima, Perú: San Marcos.

Chaboki, H. R., Ghalehnovi, M., Karimipour, A., Brito, J. d., & Mohsen, K. (20 de Abril de 2019). *Shear behaviour of concrete beams with recycled aggregate and steel fibres.* Elservier Ltd., 809-827.

Córdova, M. (2003). *Estadistica descriptiva e inferencial* (Quinta ed.). Lima, Perú: Moshera S.R.L.

Díaz, M. H. (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.* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú.

EHE-08. (2008). *ANEJO 14, Recomendaciones para la utilización de hormigón con fibras.* España. Obtenido de https://extrupol.com/wp-content/uploads/2018/11/EHE-08-anejo14.pdf

Evaristo, P. A. (2018). *Concreto reforzado con fibras metálicas y fibras sintéticas, utilizando agregados de la cantera de Andabamba - Huánuco*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Hermilio Valdizán, Huánuco, Perú.

Flores, R., & Fernández, J. M. (2008). *Redes neuronales artificiales . Fundamentos teóricos y aplicaciones prácticas* (Primera ed.). España: Oleiros, La Coruña Netbiblo.

Han, J., Zhao, M., Chen, J., & Lan, X. (10 de Junio de 2019). *Effects of steel fiber length and coarse aggregate maximum size on mechanical properties of steel fiber reinforced concrete*. Elsevier Science Ltd., 577-591.

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. d. (2014). *Metodología de la investigación* (Sexta ed.). Mexico: Mc Graw Hill.

Isasi, P., y Galván, I. M. (2004). *Redes de Neuronas Artificiales. Un enfoque práctico.* Madrid, España: Pearson Prentice Hall.

Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., & Tanesi, J. (2004). *Diseño y control de mezclas del concreto* (Primera ed.). Illinois, EE.UU.: Portland Cement Association.

Lantsoght, E. O. (15 de Octubre de 2019). *How do steel fibers improve the shear capacity of reinforced concrete beams without stirrups?* Elsevier Science Ltd.

López, E. A., & González, B. H. (2014). *Diseño y análisis de experimentos (Fundamentos y aplicaciones en agronomía)* (Segunda ed.). Guatemala, Guatemala.

MACCAFERRI. (2007). *Fibras como elemento estructural para refuerzo del hormigon.Manual técnico.* Brasil.

MACCAFERRI. (2016). Ficha técnica Wirand FF1.

Martín, B., & Sanz, A. (2011). *Redes Neuronales y Sistemas borrosos* (Tercera ed.). Madrid, España: RA-MA; Alfaomega Grupo Editor, S.A.

Niño, J. R. (2010). *Tecnología del concreto* (Tercera ed., Vol. I). Bogotá, Colombia: ASOCRETO.

NTP 334.009. (2005). *Cementos Portland. Requisitos* (Tercera ed.). Lima: INDECOPI.

NTP 339.047. (2006). *Definiciones y terminología relativas al hormigón y agregados.* Lima: INDECOPI.

NTP 339.204. (2007). *Especificación normalizada del concreto y concreto proyectado reforzado con fibra.* Lima: INDECOPI.

NTP 400.037. (2014). *Especificaciones normalizadas para agregados en concreto.* Lima: INDECOPI.

Ortiz, S. L. (2015). *Determinación de la influencia de la fibra de aceroen el esfuerzo a flexión del concreto para un "f'c=280 kg/cm2"*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú.

Ponce, P. (2010). *Inteligencia artificial con aplicaciones a la ingenieria.* México: Alfaomega Grupo Editor.

Portugal, P. (2007). *Tecnología del concreto de alto desempeño.* Obtenido de https://www.google.com/amp/s/civilgeeks.com/2016/08/03/tecnologia-del-concreto-alto-desempeno/%3famp

Ramón, J., & González, H. (1995). *Redes neuronales artificiales . Fundamentos, modelos y aplicaciones* (Primera ed.). Madrid, España: RA-MA S.A. Editorial y Publicaciones.

Ramos, N. D. (2019). *Análisis comparativo del comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibra de polipropileno y acero.* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú.

Rivas, W., & Mazón, B. (2018). *Redes neuronales artificiales aplicadas al reconocimiento de patrones* (Primera ed.). Machala, Ecuador: UTMACH.

Rivva, E. (2000). *Naturaleza y materiales del concreto* (Primera ed.). Lima, Perú: American Concrete Institute Perú.

Saludes, S. (2006). *Ensayo de doble punzonamiento aplicado al hormigón reforzado con fibras (Ensayo Barcelona)*. (Post grado). Universidad Politécnica de Catalunya, España.

Samarakoon, S. S., Ruben, P., Pedersen, J. W., & Evangelista, L. (Diciembre de 2019). Mechanical performance of concrete made of steel fibers from tire waste. *Elsevier Science Ltd.*

Sánchez, D. (1996). *Tecnología del concreto y del mortero* (Tercera ed.). Colombia: Bhandar Editores Ltda.

Sánchez, H., Reyes, C., & Mejía, K. (2018). *Manual de términos en investigación científica, tecnologica y humanística* (Primera ed.). Lima, Perú: Universidad Ricardo Palma.

Soria, E., & Blanco, A. (2007). *Redes Neurolales Artificiales.* Recuperado el 15 de Abril de 2021, de *http:/Awww.acta.es/medios/ articulos/informatica_y_computacion/019023.pdf*

Soto, J. C. (2018). Análisis de la resistencia a la tracción del concreto de f'c=210kg/cm2 reforzado con fibras de acero-huanuco-2016. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Hermilio Valdizán, Huánuco, Perú.

Tamayo y Tamayo, M. (2003). *El proceso de la investigación cientifica* (Cuarta ed.). Mexico: Limusa S.A.

Torre, A. (2004). *Curso básico de tecnología del concreto.* Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingenieria.

Vásquez, I. (2015)**.** *Comportamiento mecánico del concreto con adición de fibra de acero para una resistencia de 500 kg/cm2***.** (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Mexico, Cajamarca, Perú.

APÉNDICE

Apéndice 1: Evidencia fotográfica del proceso de ejecución.

Almacenamiento del agregado fino y agregado grueso.

Fibra de acero acero Wirand® de Maccaferri FF1.

Zarandeo del agregado fino por la malla 3/8''

Lavado del agregado grueso.

Cuarteo del agregado fino y grueso para la determinación de las características de los agregados.

Cuarteo del agregado fino y puesta al horno para realizar los respectivos ensayos.

Ensayo de granulometría del agregado grueso y agregado fino.

Ensayo de peso unitario del agregado fino y agregado grueso

Ensayo de peso específico del agregado fino.

Ensayo de peso específico del agregado grueso.

Elaboración de especímenes de concreto y ensayo de asentamiento

Asentamiento de la mezcla de concreto: Imagen izquierda concreto patron sin fibra de acero y imagen derecha con adicion de fibra de acero en cantidad 30 Kg/m^3 de Concreto.

Asentamiento de la mezcla de concreto: Imagen izquierda concreto fresco con adición de fibra de acero en cantidad 50 Kg/m^3 de concreto y imagen derecha con adicion de fibra de acero en cantidad 70 Kg/m^3 de concreto.

Desencofrado de los especímenes de concreto después de 24 horas.

Curado de moldes de concreto por inmersión a temperatura de 23 °C ± 2 °C, durante 28 días.

Ensayo de resistencia a tracción indirecta por el metodo de doble punzonamiento en la maquina de compresión digital.

Disposición de la probeta de concreto con los punzones en la máquina de compresión digital para el ensayo a tracción indirecta por el método de doble punzonamiento.

Rotura de probeta de concreto convencional (patron) sin fibra de acero.

Rotura de probeta con adición de fibra de acero en cantidad de 30 Kg/m^3 de concreto.

Rotura de probeta con adición de fibra de acero en cantidad de 50 Kg/m^3 de concreto.

Rotura de probeta con adición de fibra de acero en cantidad de 70 Kg/m^3 de concreto.

Culminando la ejecución del proyecto de tesis en laboratorio de tecnología del concreto.

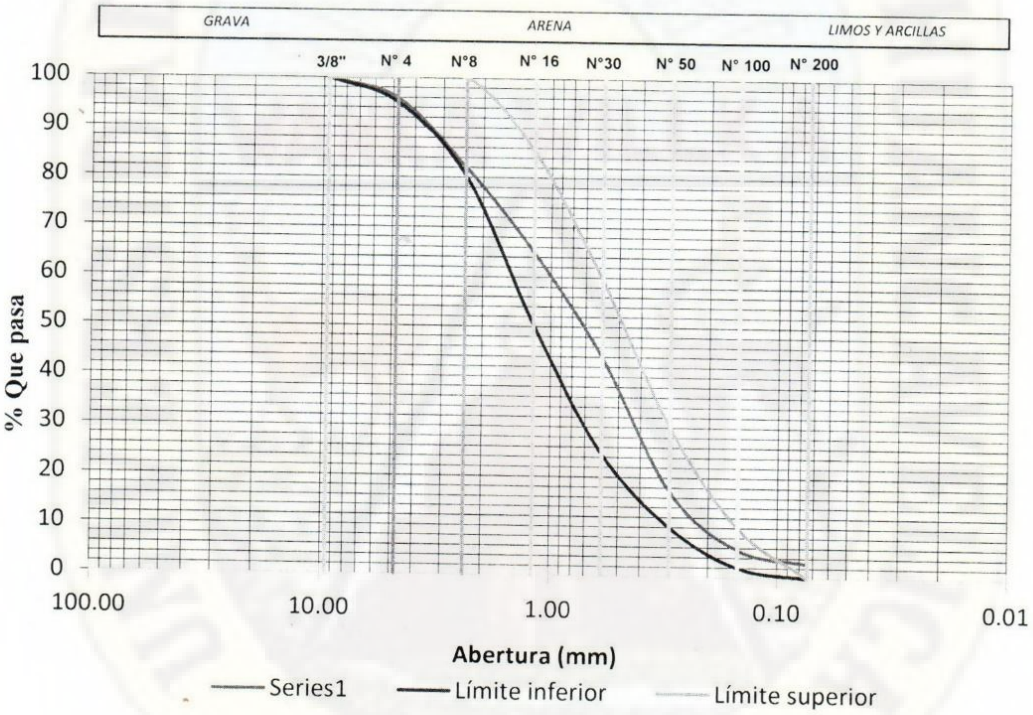
Apéndice 2: Resultados de laboratorio

RESULTADOS DE LABORATORIO

Universidad	Universidad nacional de Huancavelica
Facultad	Facultad Ciencias de Ingeniería
Escuela	Escuela profesional de ingeniería civil - Huancavelica
Tesis	**"Influencia de las fibras de acero en la resistencia a tracción indirecta del concreto mediante redes neuronales artificiales"**
Tesistas	Ccoyllar Urruchi, Engels Vladimir Salazar De La Cruz, Santiago
Laboratorio	Laboratorio de la escuela profesional de ingeniería civil – Huancavelica

1. Resumen de la caracterización de los agregados

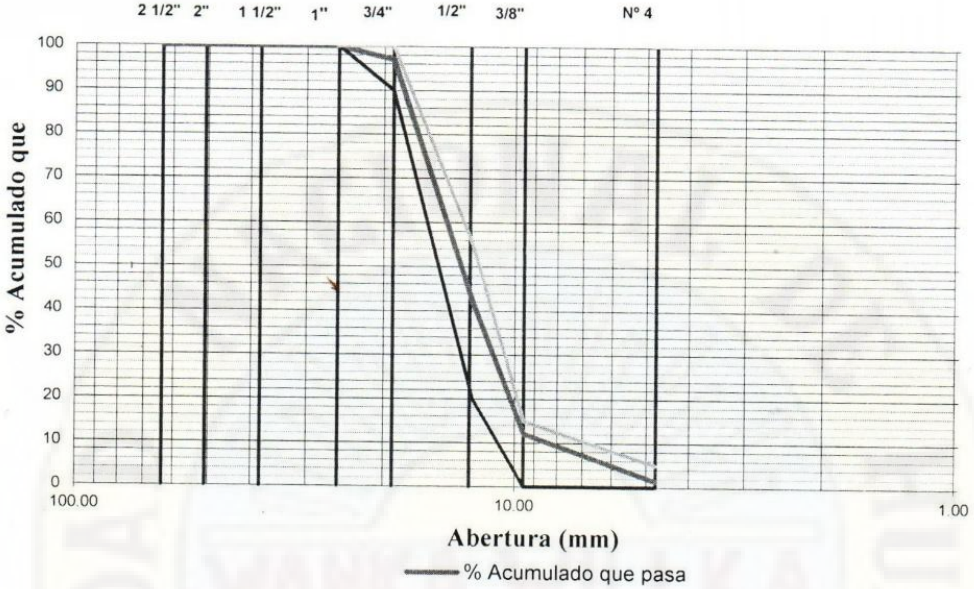
Granulometría del agregado fino.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA
ESCUELA ACADEMICA DE INGENIERIA CIVIL - HVCA
AREA DE PRODUCCION DE LA EAPICH

Tec. Lab. Alfredo Mendoza Soto

Granulometría del agregado grueso.



Características físicas	Unidad	Agregado fino	Agregado grueso
Peso unitario suelto	gr/cm3	1.644	1.346
Peso Unitario Compactado	gr/cm3	1.852	1.468
Peso Específico	gr/cm3	2.535	2.540
Módulo de fineza	pulg.	2.904	-
Tamaño Máximo Nominal	pulg.	-	3/4
Absorción	%	2.532	2.855
Contenido de Humedad	%	7.842	4.278

2. Asentamiento del concreto patrón y concreto con adición de fibra de acero en diferentes cantidades.

Tipo de concreto	Asentamiento (cm)	Variación del asentamiento con respecto al concreto patrón (%)
Concreto patrón	9.50	
Adición de 30 Kg/m³	7.80	-17.89
Adición de 50 Kg/m³	2.00	-78.95
Adición de 70 Kg/ m³	0.50	-94.74

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA
ESCUELA ACADEMICA DE INGENIERIA CIVIL - HVCA
AREA DE PRODUCCION DE LA CAPICH

Tec. Lab. Alfredo Mendoza Soto

3. Resistencia a compresión

Cantidad de fibra adicionada (kg/m3)	Probetas			Diám. Prom. (cm)	Edad	Carga máxima (Kgf)	Resistencia a la compresión (Kg/cm2)
	N°	Código	Fecha de rotura				
0 kg/m3	1	P-1	01/03/2021	15.22	28	41000	225.5
	2	P-2	01/03/2021	15.19	28	59790	329.93
	3	P-3	01/03/2021	15.18	28	61770	341.53
30 kg/m3	1	F30-1	02/03/2021	15.16	28	44370	245.81
	2	F30-2	02/03/2021	15.19	28	63990	353.11
	3	F30-3	02/03/2021	15.2	28	57560	317.42
50 kg/m3	1	F50-1	05/04/2021	15.15	28	66130	366.85
	2	F50-2	05/04/2021	15.19	28	53420	294.97
	3	F50-3	05/04/2021	15.2	28	67200	370.58
70 kg/m3	1	F70-1	06/04/2021	15.16	28	67820	375.97
	2	F70-2	06/04/2021	15.2	28	62220	343.11
	3	F70-3	06/04/2021	15.2	28	70130	386.73

4. Resistencia a tracción indirecta

Cantidad de fibra adicionada (kg/m3)	Probetas			Altura promedio (cm)	Edad	Carga máxima (Kgf)	Resistencia a tracción indirecta (Kg/cm2)
	N°	Código	Fecha de rotura				
0 kg/m3	1	P-4	01-03-21	15.21	28	11290	**27.85**
	2	P-5	01-03-21	15.20	28	11290	**27.87**
	3	P-6	01-03-21	15.20	28	11150	**27.52**
	4	P-7	01-03-21	15.21	28	10950	**27.02**
	5	P-8	01-03-21	15.21	28	11880	**29.33**
	6	P-9	01-03-21	15.20	28	11740	**29.10**
	7	P-10	01-03-21	15.14	28	11190	**27.61**
	8	P-11	01-03-21	15.21	28	11360	**28.09**
	9	P-12	01-03-21	15.17	28	12030	**29.93**
	10	P-15	01-03-21	15.17	28	11310	**27.97**
	11	P-16	01-03-21	15.18	28	11410	**28.21**
	12	P-17	01-03-21	15.14	28	12080	**29.93**
	13	P-18	02-03-21	15.12	28	11490	**28.51**
	14	P-19	03-03-21	15.08	28	11280	**28.08**

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA
ESCUELA ACADEMICA DE INGENIERIA CIVIL - HVCA
AREA DE PRODUCCION DE LA EAPIC

Tec. Lab. Alfredo Mendoza Soto

Cantidad de fibra adicionada (kg/m3)	Probetas			Altura promedio (cm)	Edad	Carga máxima (Kgf)	Resistencia a tracción indirecta (Kg/cm2)
	N°	Código	Fecha de rotura				
30 kg/m3	1	F30-5	02-03-21	15.05	28	12560	**31.32**
	2	F30-6	02-03-21	15.19	28	12010	**29.68**
	3	F30-7	02-03-21	15.21	28	12600	**31.09**
	4	F30-9	02-03-21	15.06	28	12380	**30.85**
	5	F30-10	02-03-21	15.10	28	12130	**30.14**
	6	F30-11	02-03-21	15.21	28	12290	**30.33**
	7	F30-12	02-03-21	15.22	28	12230	**30.16**
	8	F30-13	02-03-21	15.07	28	12760	**31.77**
	9	F30-14	02-03-21	15.15	28	12630	**31.28**
	10	F30-15	02-03-21	15.01	28	12100	**30.26**
	11	F30-16	02-03-21	15.13	28	12130	**30.08**
	12	F30-17	02-03-21	15.18	28	12500	**30.89**
	13	F30-18	02-03-21	15.04	28	12320	**30.73**
	14	F30-19	02-03-21	15.14	28	11920	**29.54**

Cantidad de fibra adicionada (kg/m3)	Probetas			Altura promedio (cm)	Edad	Carga máxima (Kgf)	Resistencia a tracción indirecta (Kg/cm2)
	N°	Código	Fecha de rotura				
50 kg/m3	1	F50-4	05-04-21	15.20	28	12830	**31.67**
	2	F50-6	05-04-21	15.14	28	12470	**30.90**
	3	F50-7	05-04-21	15.15	28	13270	**32.87**
	4	F50-8	05-04-21	15.21	28	13960	**34.43**
	5	F50-10	05-04-21	15.18	28	14070	**34.78**
	6	F50-11	05-04-21	15.21	28	13140	**32.41**
	7	F50-12	05-04-21	15.20	28	13600	**33.58**
	8	F50-13	05-04-21	15.13	28	13420	**33.28**
	9	F50-14	05-04-21	15.23	28	12550	**31.14**
	10	F50-15	05-04-21	15.16	28	13630	**33.75**
	11	F50-16	05-04-21	15.23	28	13110	**32.36**
	12	F50-17	05-04-21	15.20	28	14060	**34.71**
	13	F50-18	05-04-21	15.12	28	12610	**31.29**
	14	F50-19	05-04-21	15.18	28	13960	**34.50**

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA
ESCUELA ACADEMICA DE INGENIERIA CIVIL - HVCA
AREA DE PRODUCCION DE LA EAPICH

Tec. Lab. Alfredo Mendoza Soto

Cantidad de fibra adicionada (kg/m3)	Probetas			Altura promedio (cm)	Edad	Carga máxima (Kgf)	Resistencia a tracción indirecta (Kg/cm2)
	N°		Fecha de rotura				
70 kg/m3	1	F70-4	06-04-21	15.08	28	13780	**34.37**
	2	F70-5	06-04-21	15.12	28	13620	**33.80**
	3	F70-6	06-04-21	15.14	28	13640	**33.81**
	4	F70-7	06-04-21	15.04	28	13610	**33.97**
	5	F70-9	06-04-21	15.13	28	14160	**35.12**
	6	F70-10	06-04-21	15.12	28	14020	**34.80**
	7	F70-11	06-04-21	15.02	28	13890	**34.70**
	8	F70-12	06-04-21	15.14	28	13890	**34.43**
	9	F70-13	06-04-21	15.12	28	13640	**34.00**
	10	F70-14	06-04-21	15.13	28	13280	**32.94**
	11	F70-15	06-04-21	15.12	28	13370	**33.19**
	12	F70-17	06-04-21	15.10	28	13760	**34.19**
	13	F70-18	06-04-21	15.09	28	14100	**35.06**
	14	F70-19	06-04-21	15.03	28	13370	**33.38**

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA
ESCUELA ACADEMICA DE INGENIERIA CIVIL - HVCA
AREA DE PRODUCCION DE LA EAPICH

Téc. Lab. Alfredo Mendoza Soto

Apéndice 3: Constancia de ensayos de laboratorio.

"Año del Bicentenario del Perú: 200 años de Independencia"

EL JEFE DEL ÁREA DE PRODUCCIÓN DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL HUANCAVELICA, DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA, otorga la presente:

CONSTANCIA

A: ***CCOYLLAR URRUCHI, Engels Vladimir y SALAZAR DE LA CRUZ, Santiago,*** *bachilleres de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil - Huancavelica, Facultad de Ciencias de Ingeniería, de la Universidad Nacional de Huancavelica, quienes han concluido con el desarrollo los siguientes ensayos en el laboratorio de* ***TECNOLOGÍA DEL CONCRETO*** *de la EPICH:*

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO GRUESO Y FINO	01
2	PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO Y FINO	01
3	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO DEL AGREGADO GRUESO Y FINO	01
4	PESO UNITARIO S.S. Y S.C. (GRUESO Y FINO)	01
5	CURADO DE TESTIGOS DE CONCRETO	68
6	COMPRESIÓN DIGITAL DE TESTIGOS	68
7	ENSAYO DE ASENTAMIENTO SLUMP	04

Durante las fechas del 11 de enero al 06 de abril del 2021, del proyecto de tesis titulado: ***"INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE ACERO EN LA RESISTENCIA A TRACCIÓN INDIRECTA DEL CONCRETO MEDIANTE REDES NEURONALES ARTIFICIALES".***

Se expide la presente constancia a solicitud de los interesados para fines que estimen por conveniente.

Huancavelica, 06 de mayo de 2021.

AREA DE PRODUCCIÓN DE LA E.A.P. DE ING. CIVIL HVCA
JEFE
HVCA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL - HVCA
ÁREA DE PRODUCCIÓN
Ing. Edith Edeliza Huamaní Serpa
JEFE

Nº 003-2021

C. c.
Archivo
AP

Apéndice 4: Ficha técnica de la fibra de acero.

Fibras para Refuerzo de Hormigón FF1

Características técnicas

Las fibras para refuerzo de hormigón Wirand® son producidas a partir de acero de bajo contenido de carbono, trefilado a frío. Las fibras de acero Wirand® cuando están mezcladas con el concreto, actúan como una armadura tridimensional que redistribuye las tensiones aplicadas en su elemento estructural aumentando su resistencia.

Propiedades Físicas		FF1
Relación L/d (largo / diámetro)	-	50
Tolerancia del valor individual de la relación L/d	%	15
Tolerancia del valor medio de la relación L/d	%	7.5
Diámetro	mm	1.00
Tolerancia del valor individual del diámetro	%	10
Tolerancia del valor medio del diámetro	%	5
Largo	mm	50
Tolerancia del valor individual del largo	%	5
Tolerancia del valor medio del largo	%	5

Propiedades Mecánicas		FF1
Resistencia à tracción del acero	MPa	>1100
Deformación en la ruptura	%	<4
Módulo elástico	MPa	210000

Aplicación	FF1
Campos de aplicación indicados	pavimentos y pré-fabricados
Número de fibras por Kilogramo	3244

Características del producto

Forma	Las fibras de acero Wirand® presentan un formato especial que garantizan la adherencia entre las fibras y el hormigón.
Producción	Las fibras de acero Wirand® son producidas, modeladas y cortadas a través de corte de alambres de acero con bajo contenido de carbono, conforme las normas: ASTM A 820/04, ASTM C 1116/03, DIN 1045, UNI 11037, PR EM 14889-1 y PN 28:000.04/00.
Presentación	Las fibras de acero Wirand® son acondicionadas en cajas o bolsas con 20 kg.

Maccaferri se reserva el derecho de revisar estas especificaciones en cualquier momento, de acuerdo con las características de los productos fabricados.

Apéndice 5: Ficha técnica del cemento.

UNACEM
CONSTRUYENDO OPORTUNIDADES

Ficha Técnica

CEMENTO
ANDINO PREMIUM

Descripción:
- Es un Cemento Pórtland Tipo I, obtenido de la molienda Clinker Tipo I y yeso.

Beneficios:
- Alta resistencia a mediano y largo plazo, alta durabilidad.
- Excelente trabajabilidad y acabado.
- Bajo contenido de álcalis. Buena resistencia a los agregados álcali reactivos.
- Moderada resistencia al salitre.

Usos:
- Estructuras sólidas de acabados perfectos.
- Construcciones en general de gran envergadura como, puentes, estructuras industriales y conjuntos habitacionales.

Características Técnicas:
- Cumple con la Norma Técnica Peruana NTP-334.009 y la Norma Técnica Americana ASTM C-150.

Formato de Distribución:
- *Bolsas de 42.5 Kg:* 04 pliegos (03 de papel + 01 film plástico).
- *Granel:* A despacharse en camiones bombonas y Big Bags.

Recomendaciones

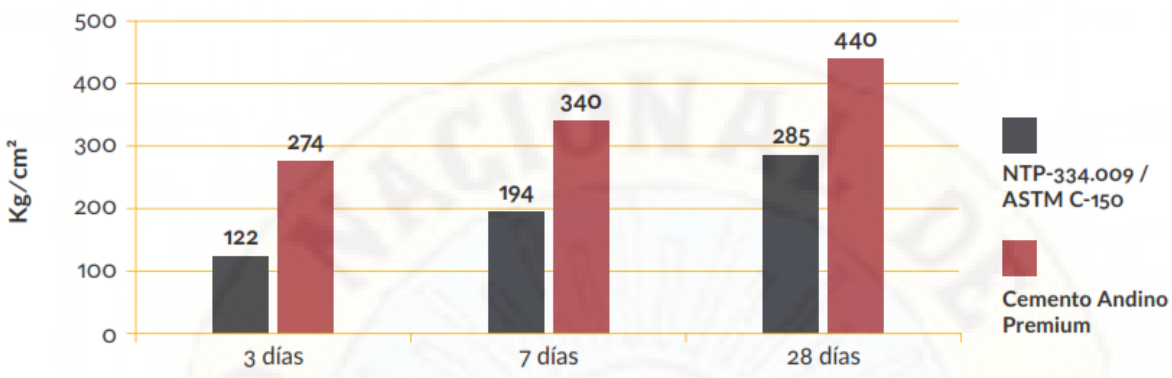
Dosificación:
- Se debe dosificar según la resistencia deseada.
- Respetar la relación agua/cemento (a/c) a fin de obtener un buen desarrollo de resistencias, trabajabilidad y performance del cemento.
- Realizar el curado con agua a fin de lograr un buen desarrollo de resistencia y acabado final.

Manipulación:
- Se debe manipular el cemento en ambientes ventilados.
- Se recomienda utilizar equipos de protección personal.
- Se debe evitar el contacto del cemento con la piel, los ojos y su inhalación.

Almacenamiento:
- Almacenar las bolsas bajo techo, separadas de paredes y pisos. Protegerlas de las corrientes de aire húmedo.
- No apilar más de 10 bolsas para evitar su compactación.
- En caso de un almacenamiento prolongado, se recomienda cubrir los sacos con un cobertor de polietileno y en dos pallet de altura.

Requisitos mecánicos

Comparación resistencias NTP-334.009 / ASTM C-150 vs. Cemento Andino Premium



Propiedades físicas y químicas

Parámetro	Unidad	Cemento Andino Premium	Requisitos NTP-334.009 / ASTM C-150
Contenido de aire	%	5.08	Máximo 12
Expansión autoclave	%	0.01	Máximo 0.80
Superficie específica	m^2/kg	361	Mínimo 260
Densidad	g/ml	3.15	No especifica
Resistencia a la Compresión			
Resistencia a la compresión a 3 días	kg/cm^2	274	Mínimo 122
Resistencia a la compresión a 7 días	kg/cm^2	340	Mínimo 194
Resistencia a la compresión a 28 días	kg/cm^2	440	Mínimo 285*
Tiempo de Fraguado			
Fraguado Vicat inicial	min	116	Mínimo 45
Fraguado Vicat final	min	285	Máximo 375
Composición Química			
MgO	%	1.93	Máximo 6.0
SO_3	%	2.68	Máximo 3.0
Pérdida al fuego	%	1.49	Máximo 3.0
Residuo insoluble	%	0.69	Máximo 1.5
Fases Mineralógicas			
C_2S	%	15.53	No especifica
C_3S	%	57.35	No especifica
C_3A	%	7.50	No especifica
C_4AF	%	10.61	No especifica
Álcalis Equivalentes			
Contenido de álcalis equivalentes	%	0.47	Requisito opcional, máximo 0.60
Resistencia a los Sulfatos			
Resistencia al ataque de sulfatos	%	0.083	0.10 % máx. a 180 días

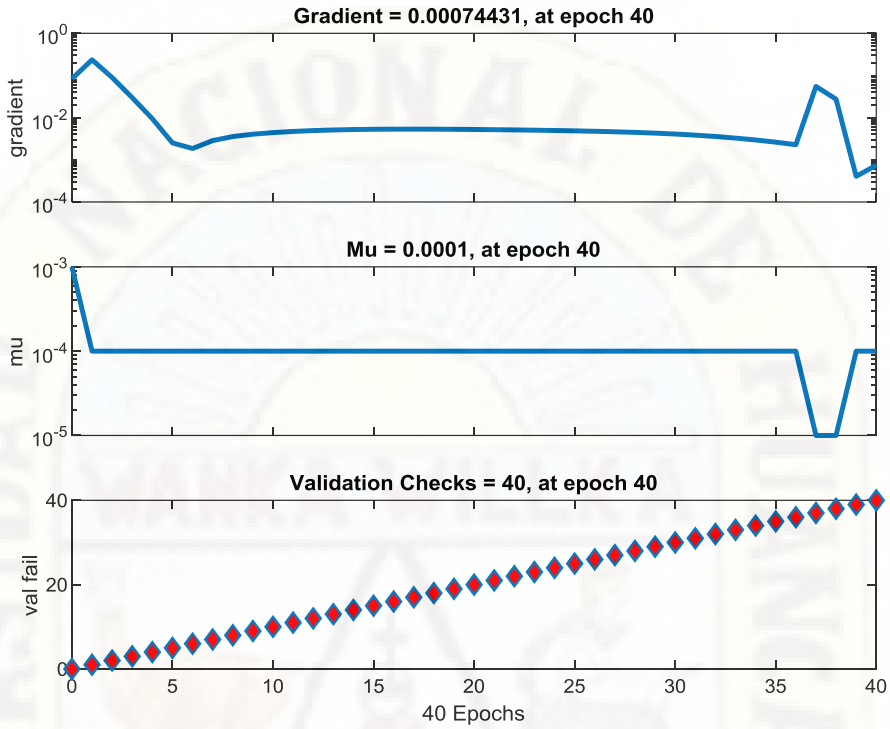
*Requisito opcional

UNACEM
CONSTRUYENDO OPORTUNIDADES

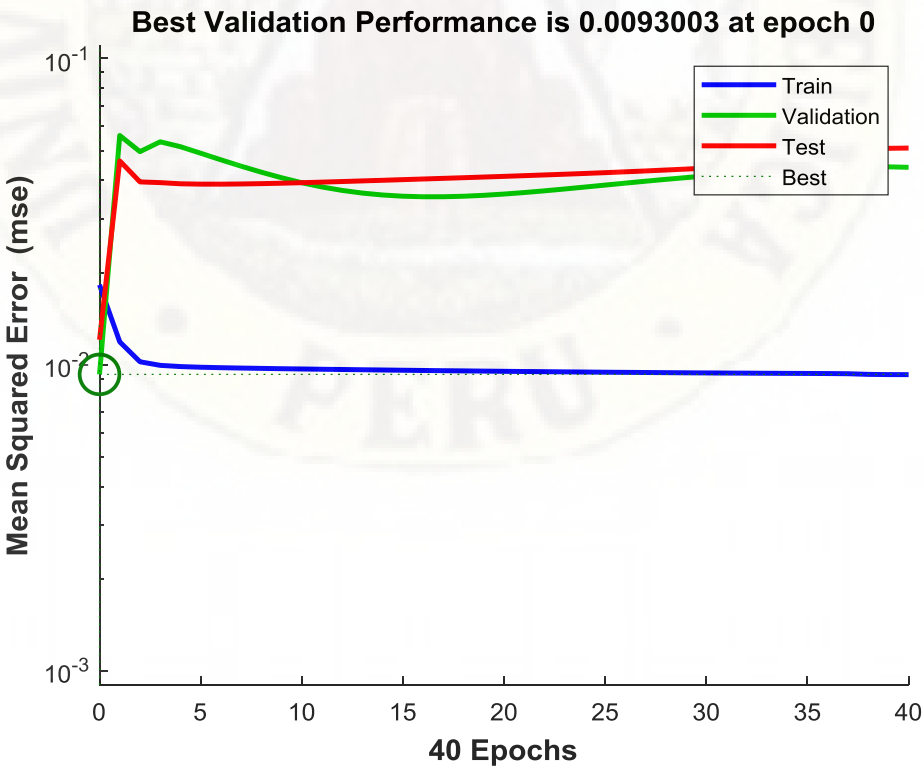
Apéndice 6: Diseño de redes neuronales usando software Matlab

1) **RED NEURONAL [20 5 1]**

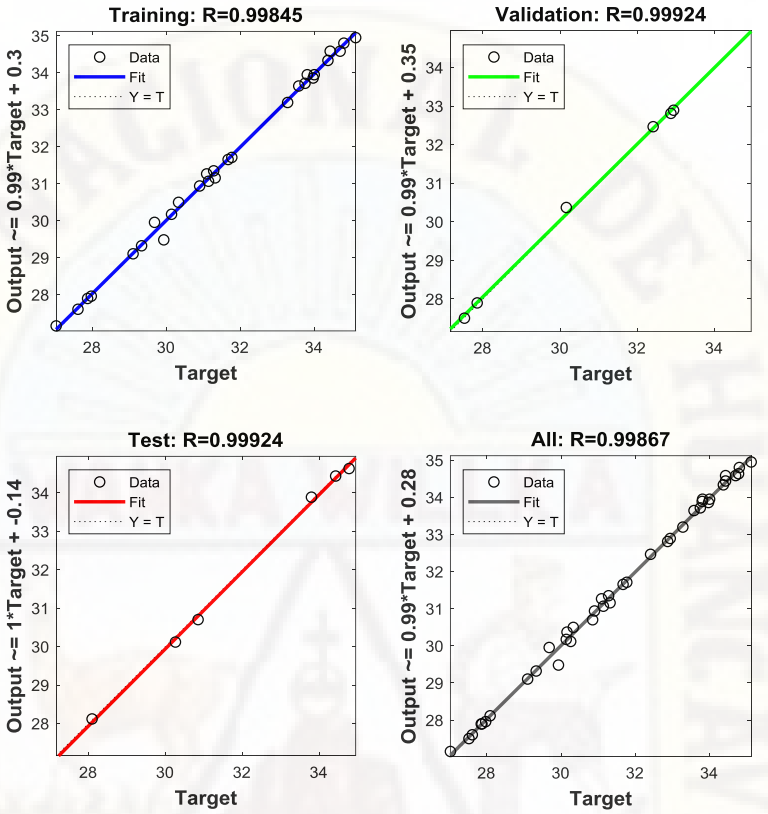
Entrenamiento



Performance

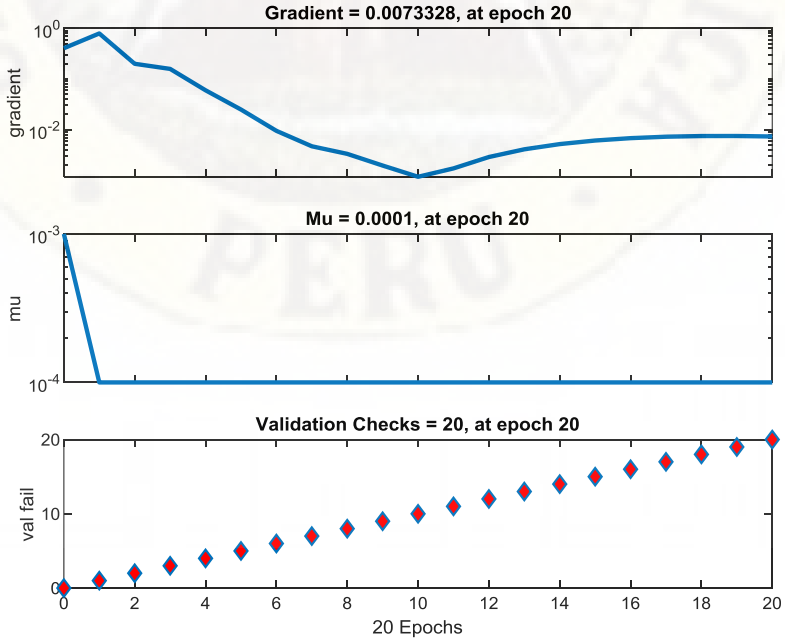


Regresión

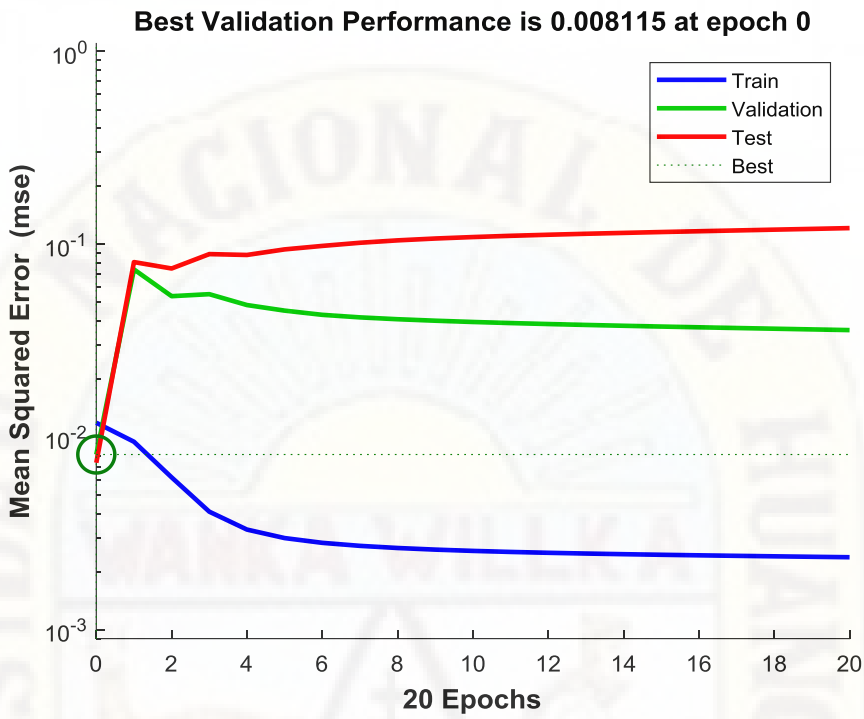


2) **RED NEURONAL [20 10 1]**

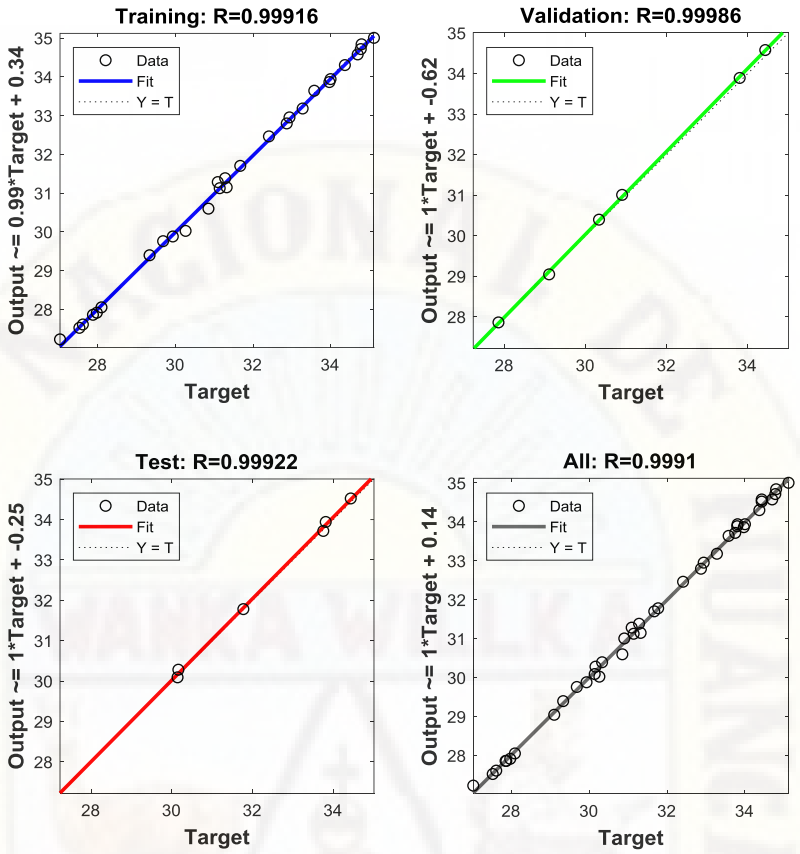
Entrenamiento



Performance

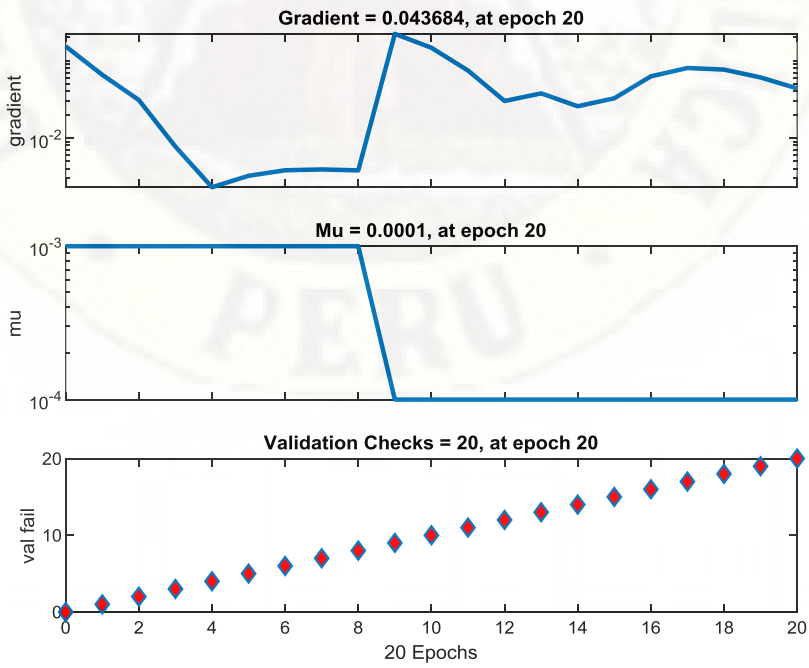


Regresión

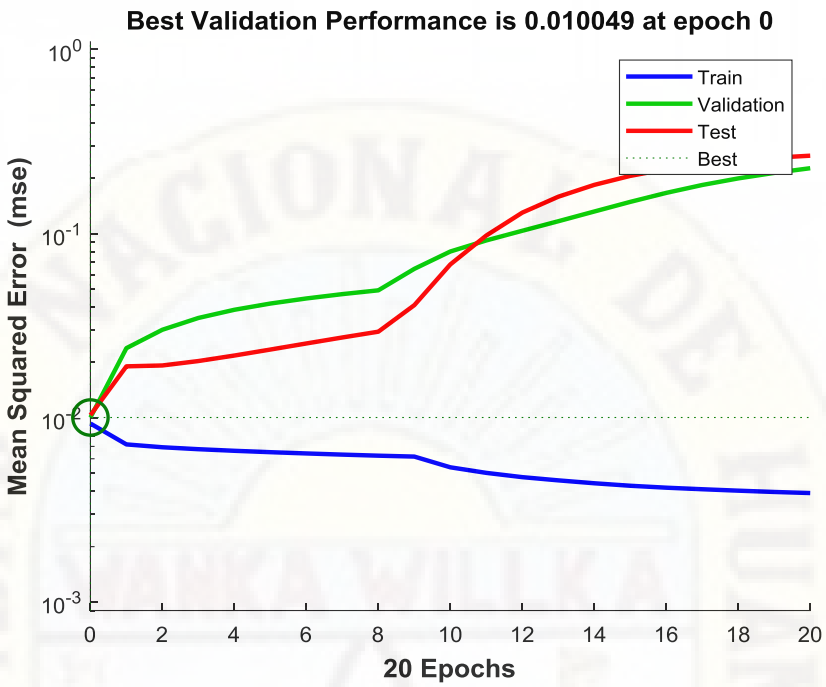


3) RED NEURONAL [20 15 1]

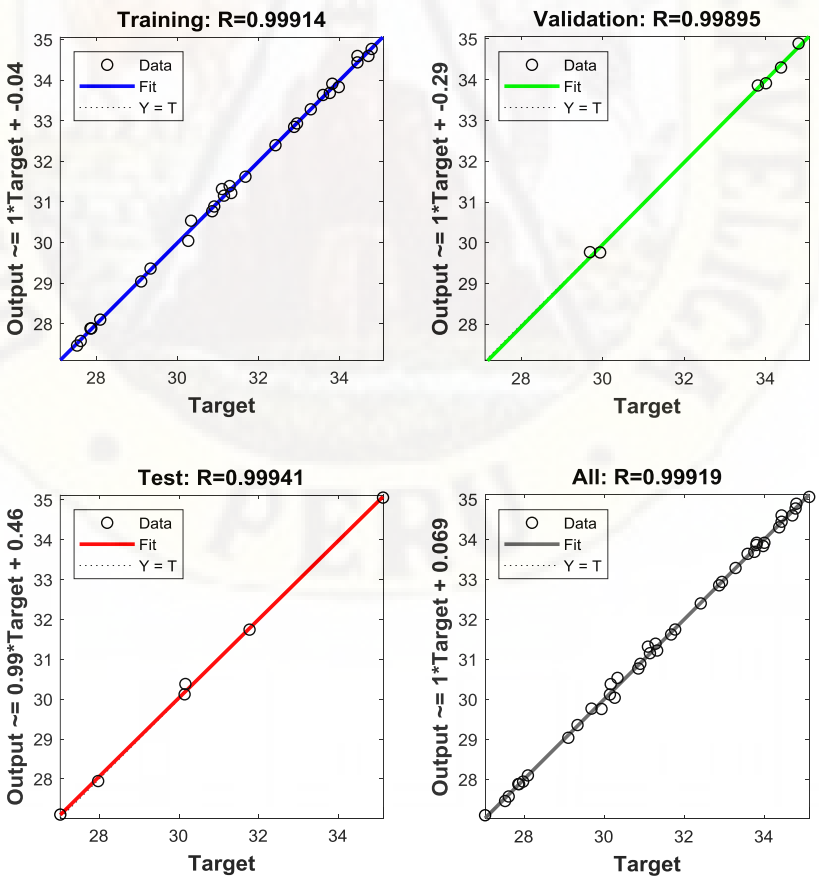
Entrenamiento



Performance

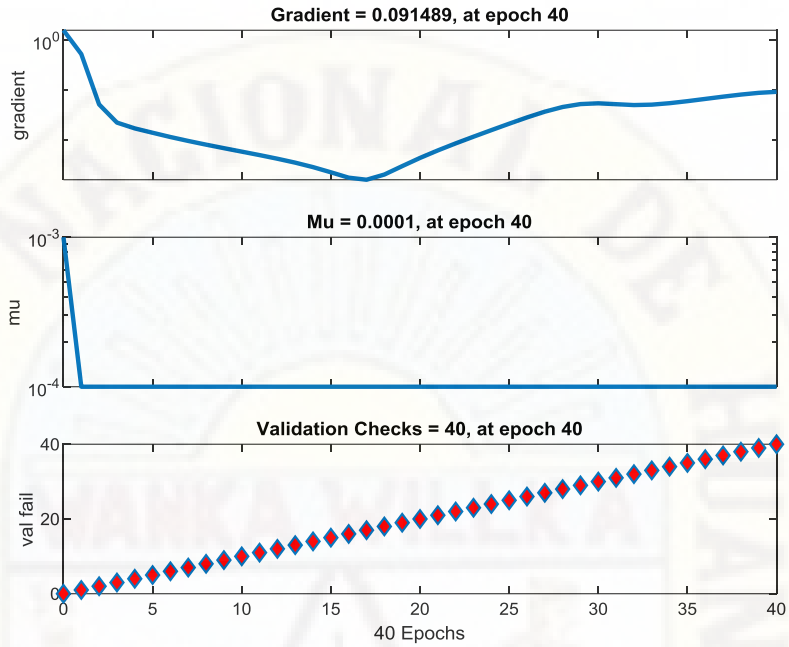


Regresión

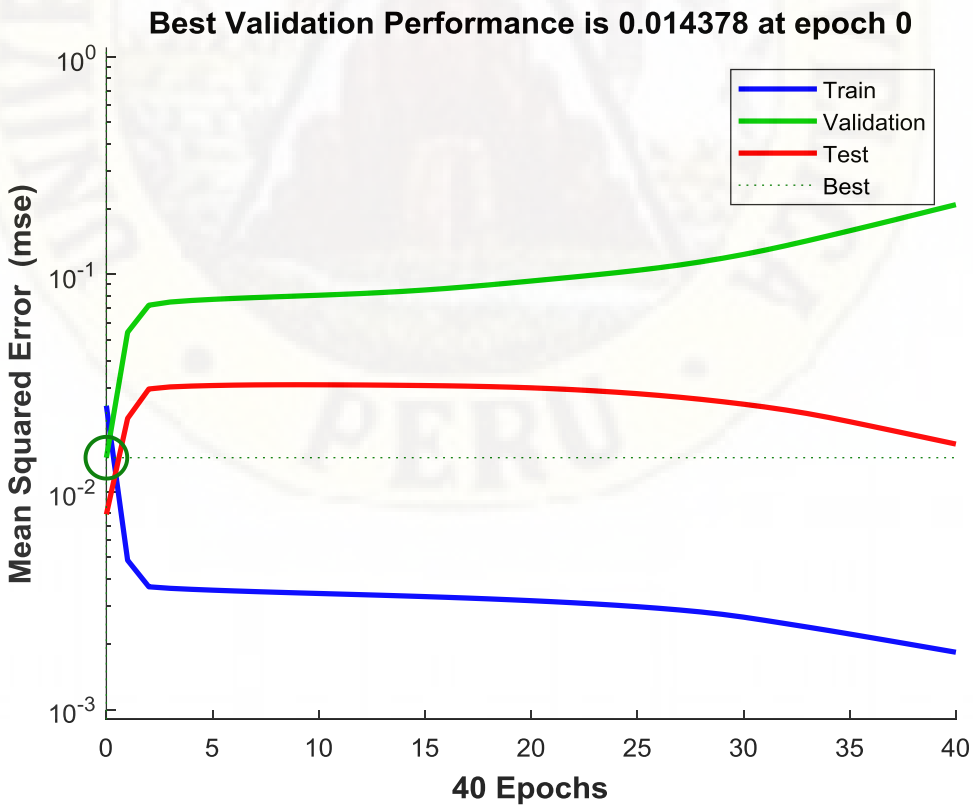


4) RED NEURONAL [20 20 1]

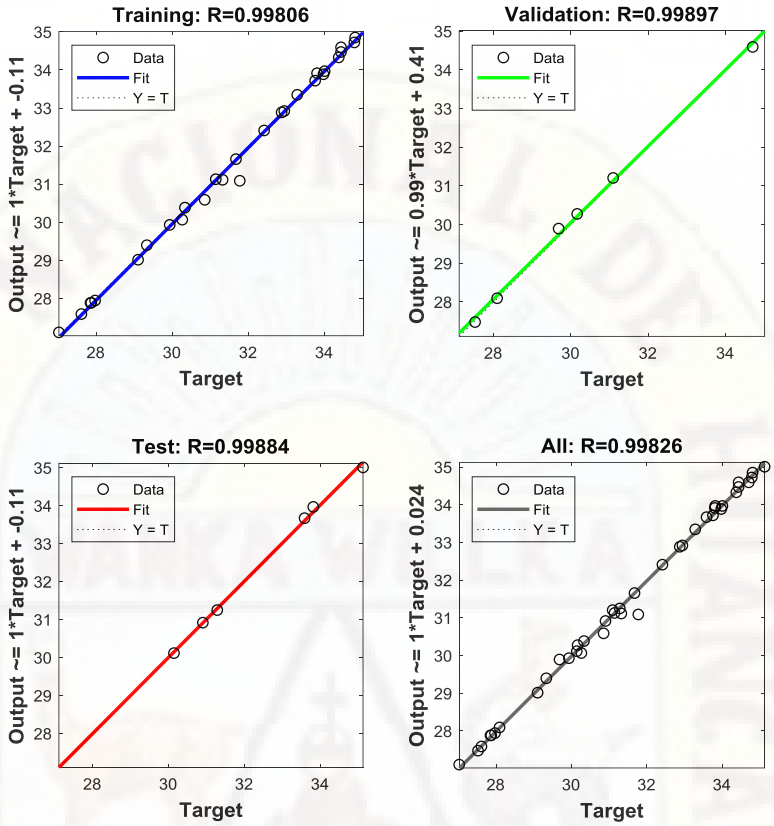
Entrenamiento



Performance

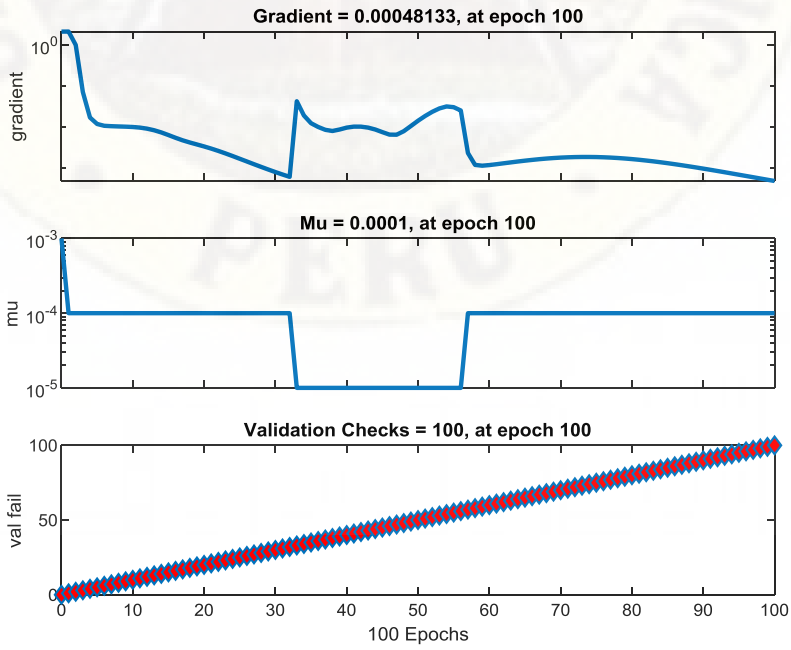


Regresión

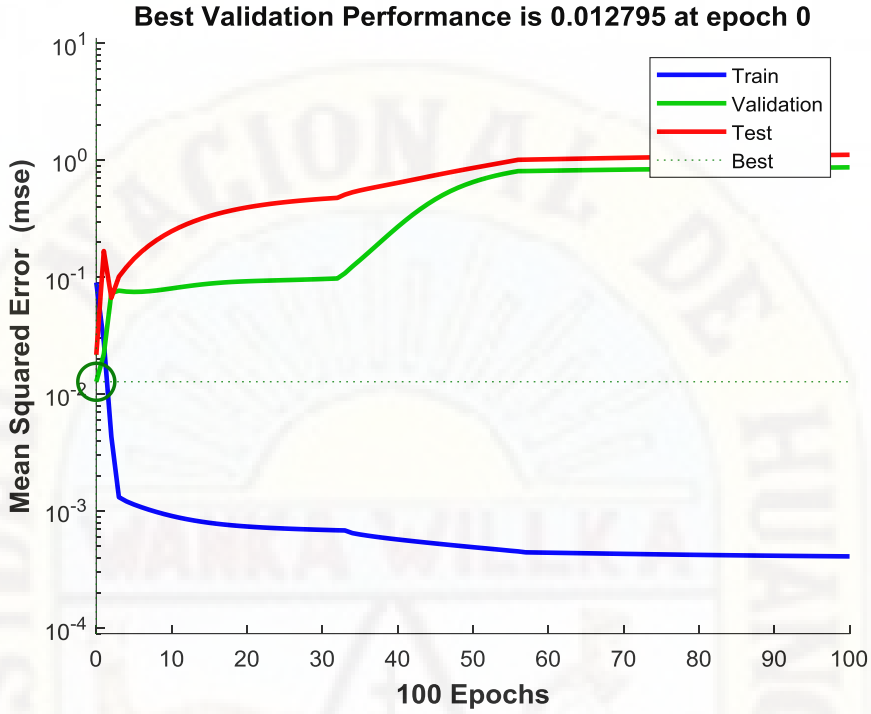


5) **RED NEURONAL [20 25 1]**

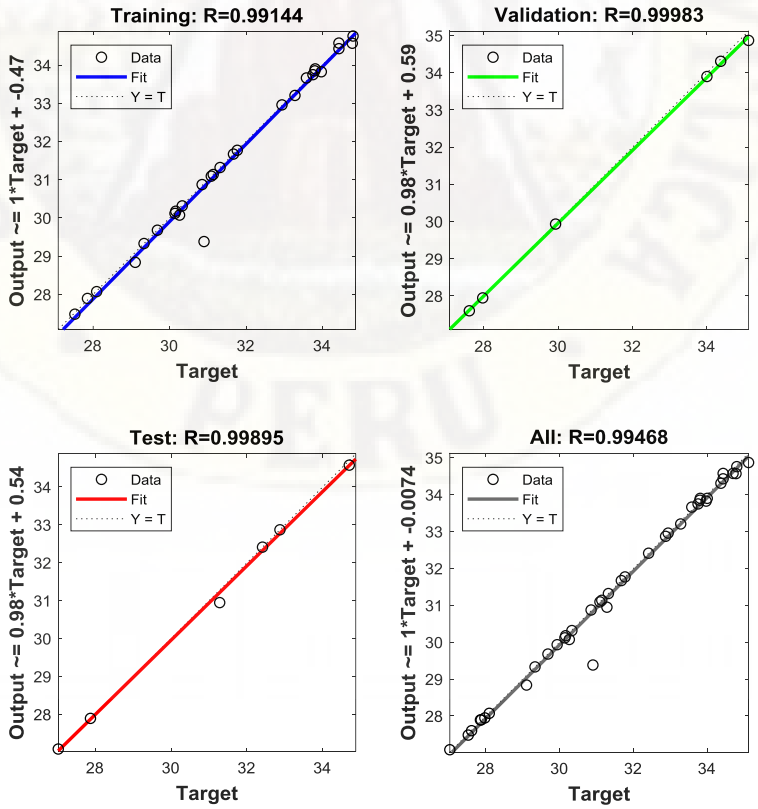
Entrenamiento



Performance

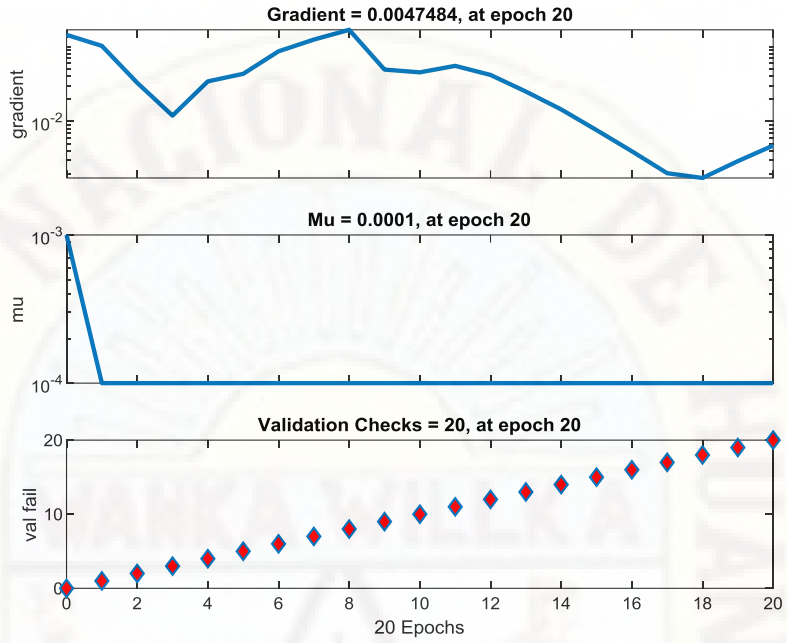


Regresión

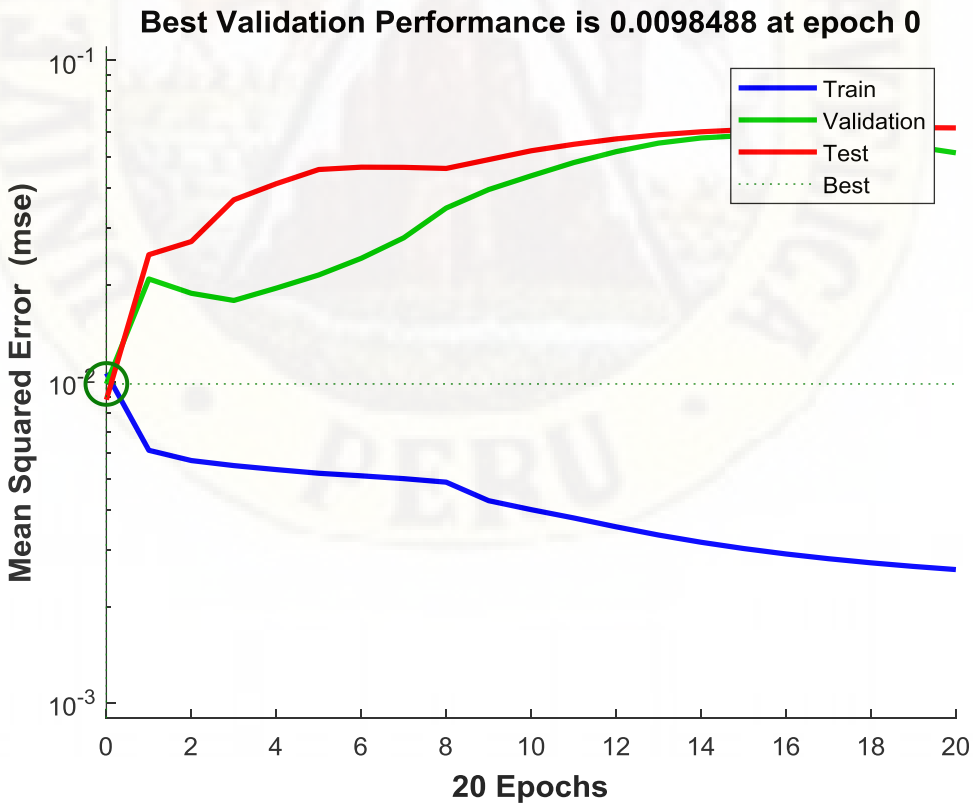


6) RED NEURONAL [20 5 5 1]

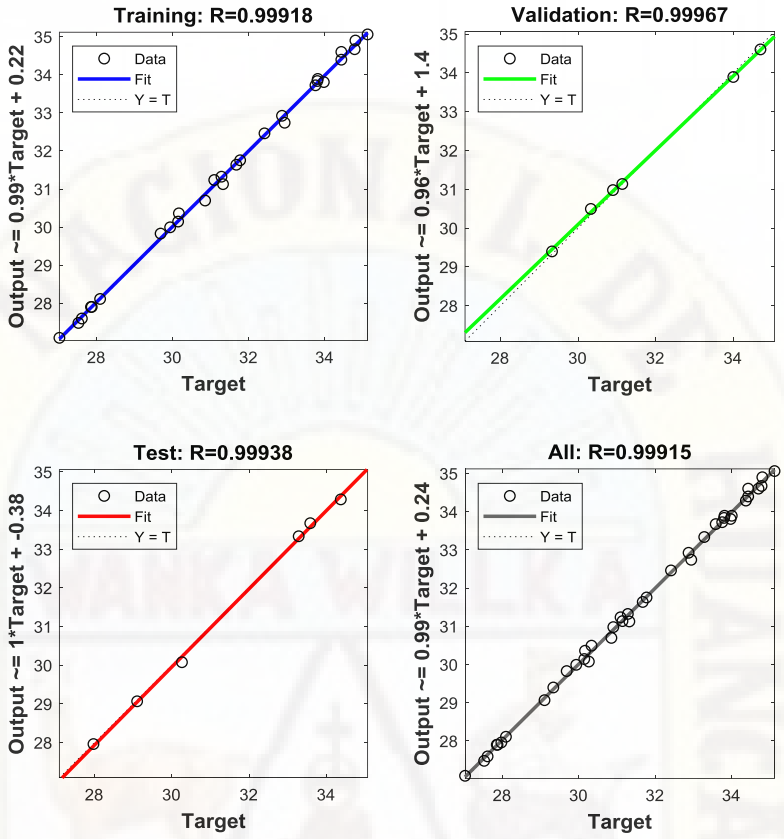
Entrenamiento



Performance

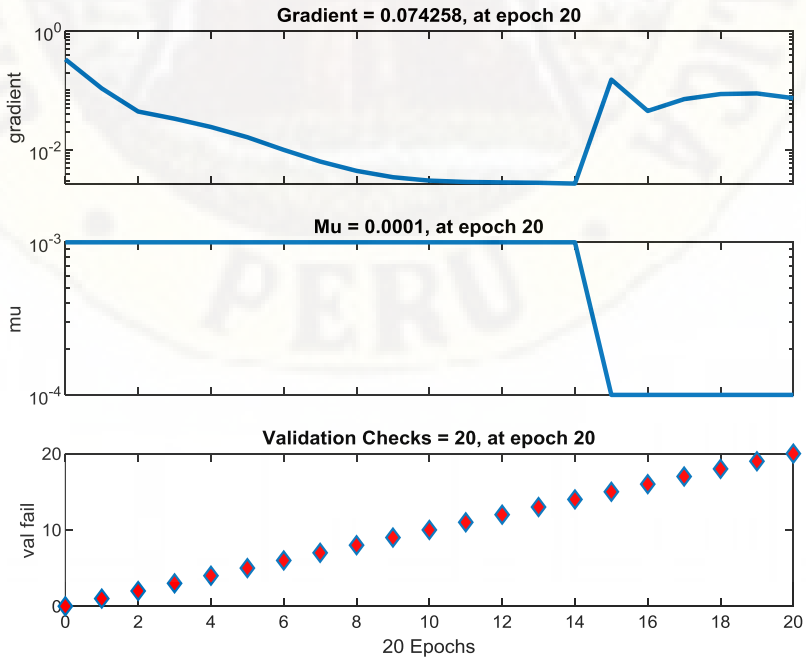


Regresión

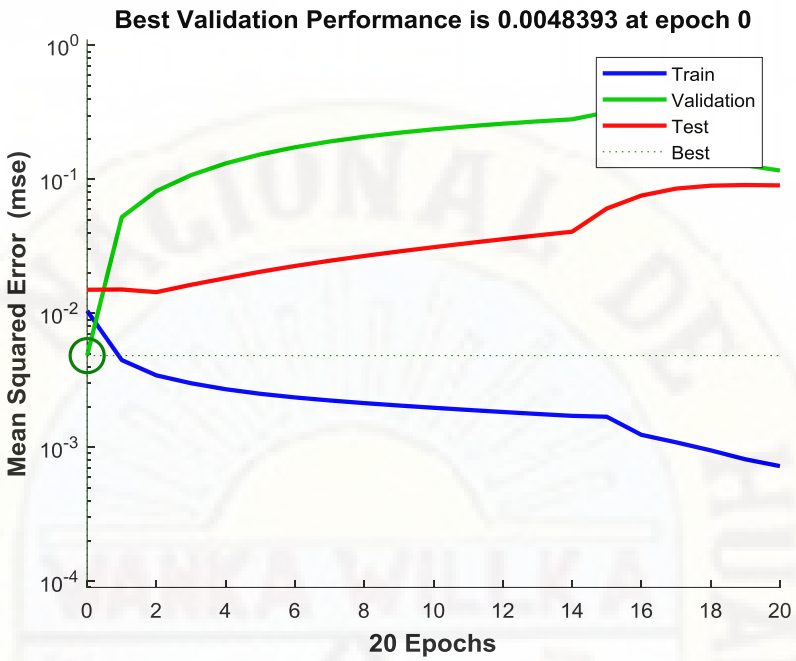


7) **RED NEURONAL [20 10 10 1]**

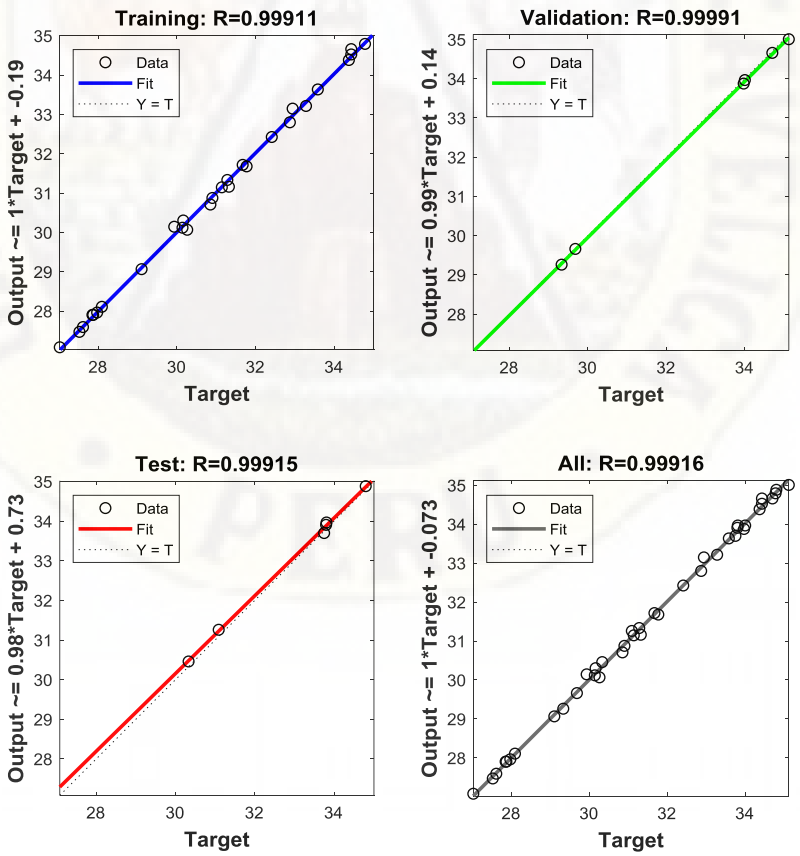
Entrenamiento



Performance

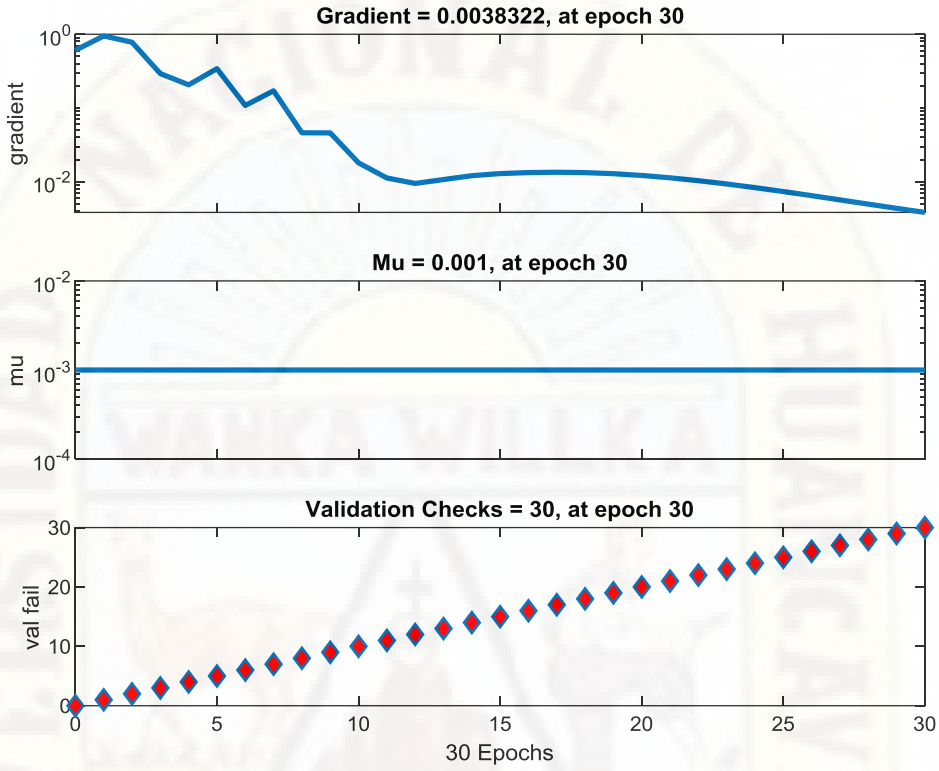


Regresión

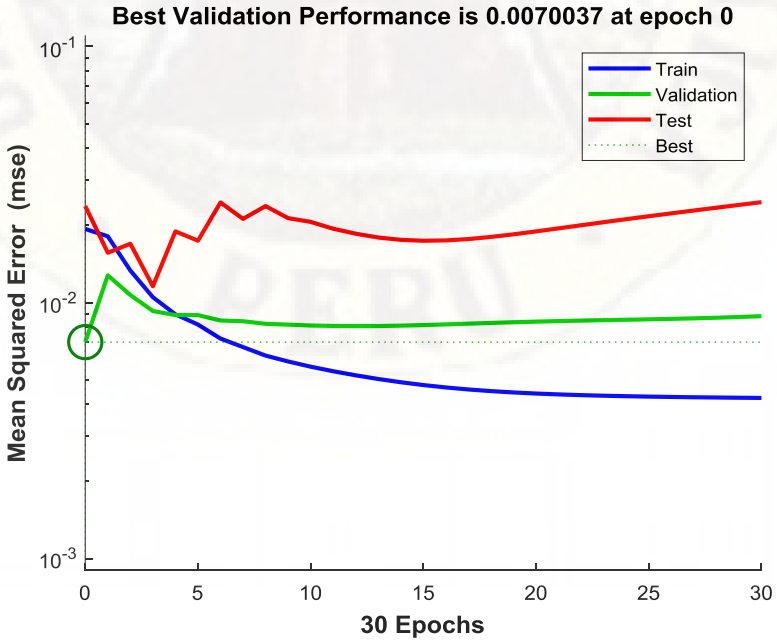


8) RED NEURONAL [20 15 15 1]

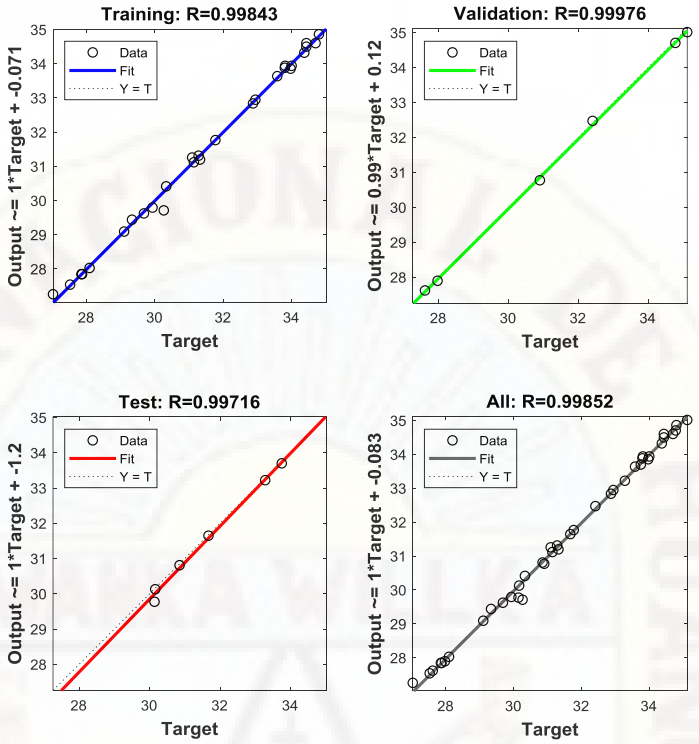
Entrenamiento



Performance

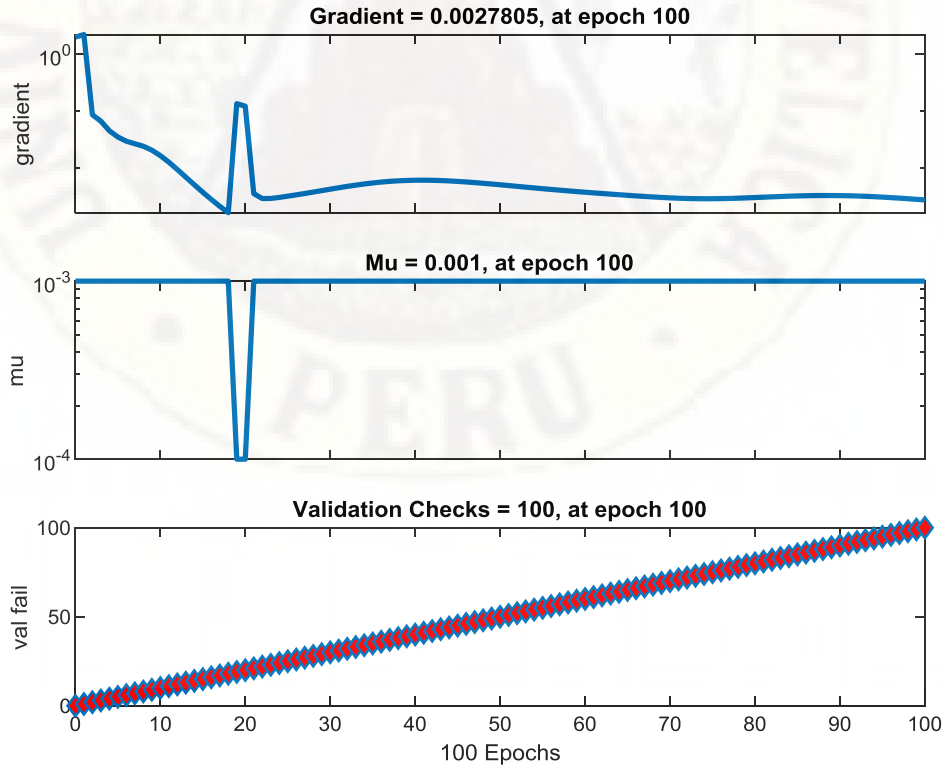


Regresión

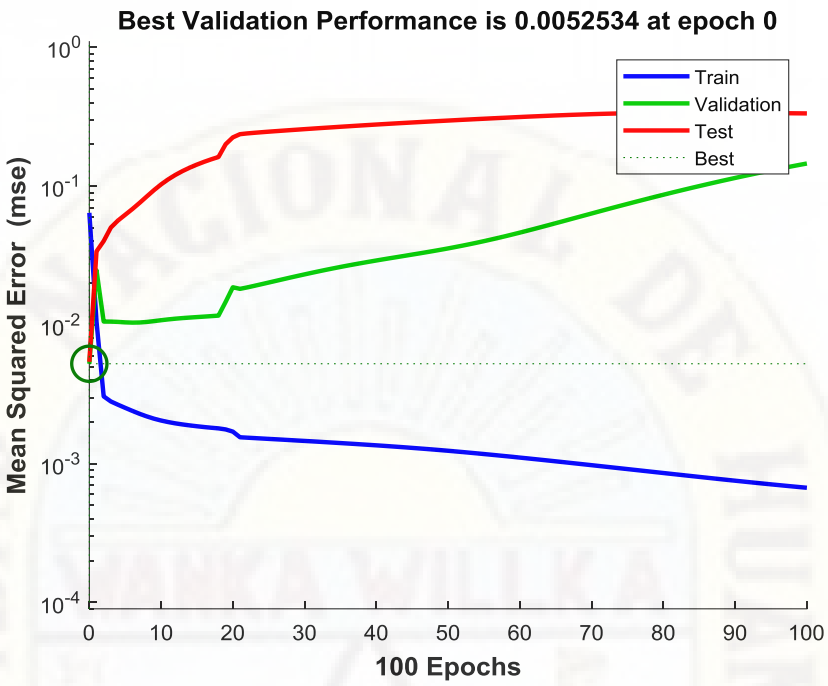


9) RED NEURONAL [20 20 15 1]

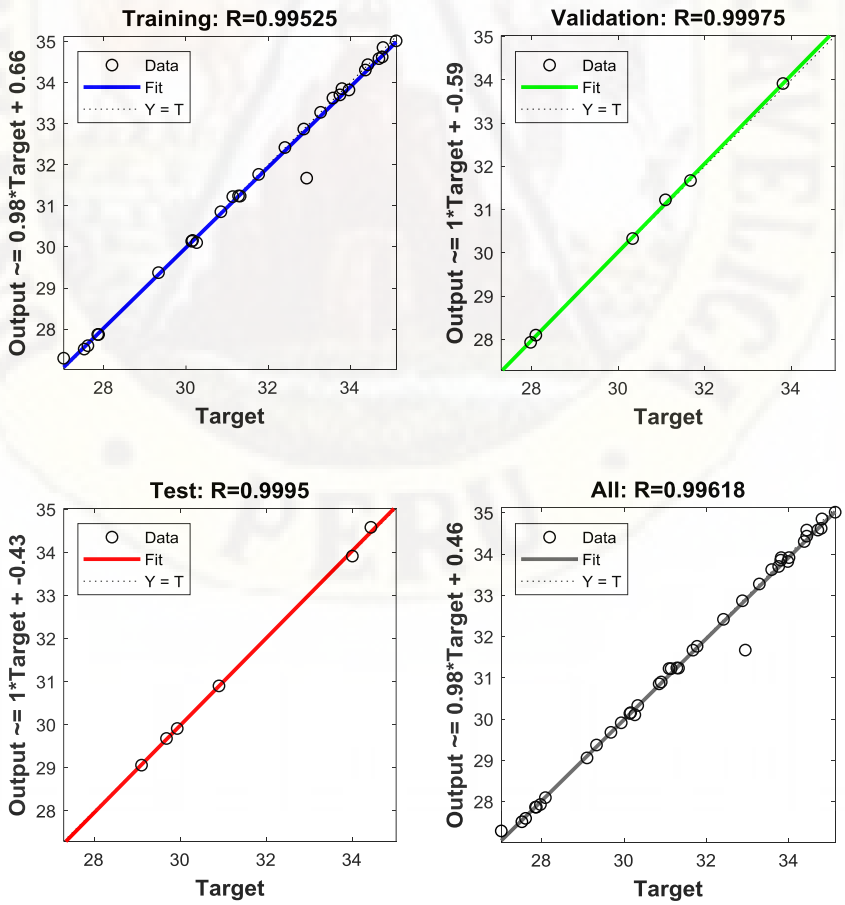
Entrenamiento



Performance

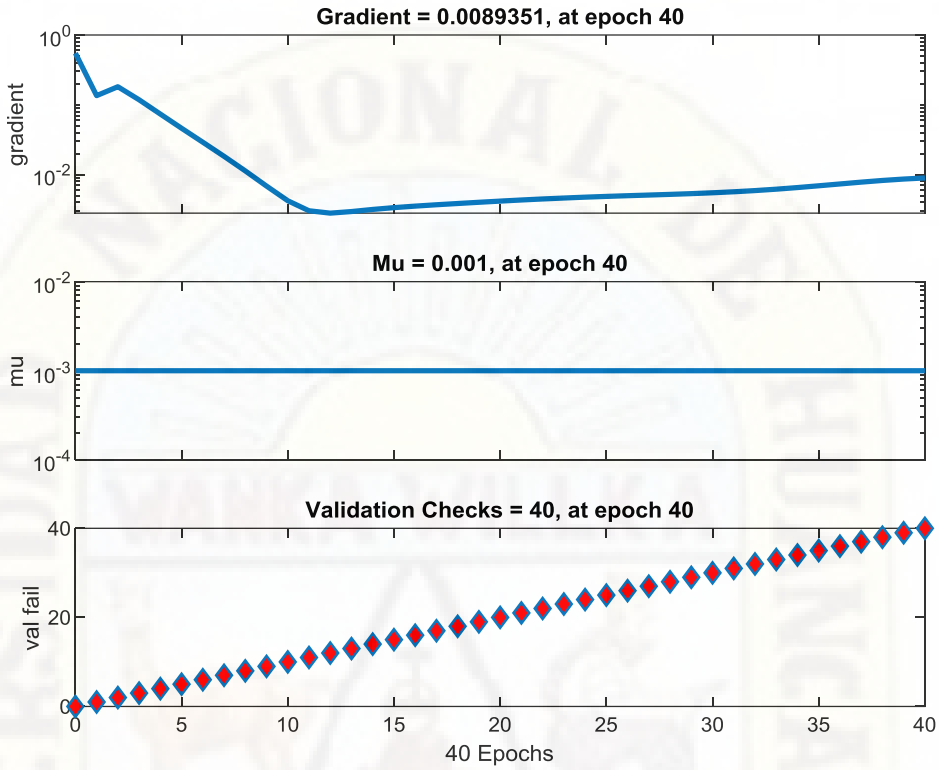


Regresión

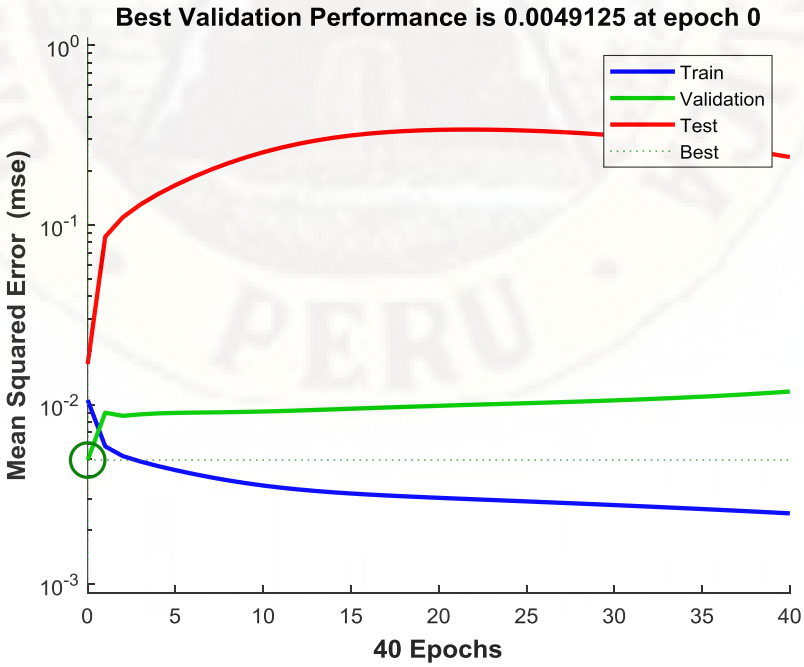


10) RED NEURONAL [20 15 10 1]

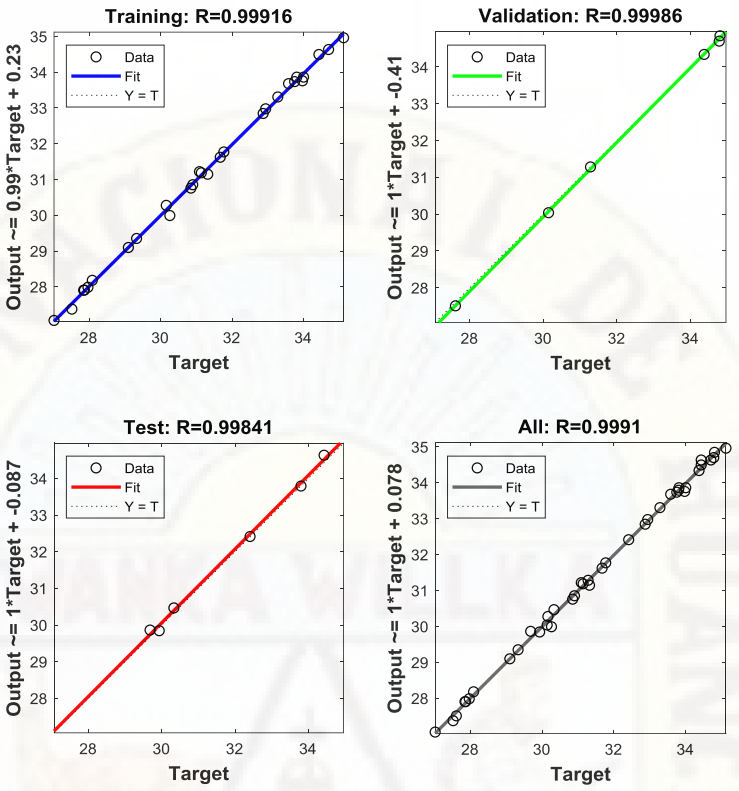
Entrenamiento



Performance

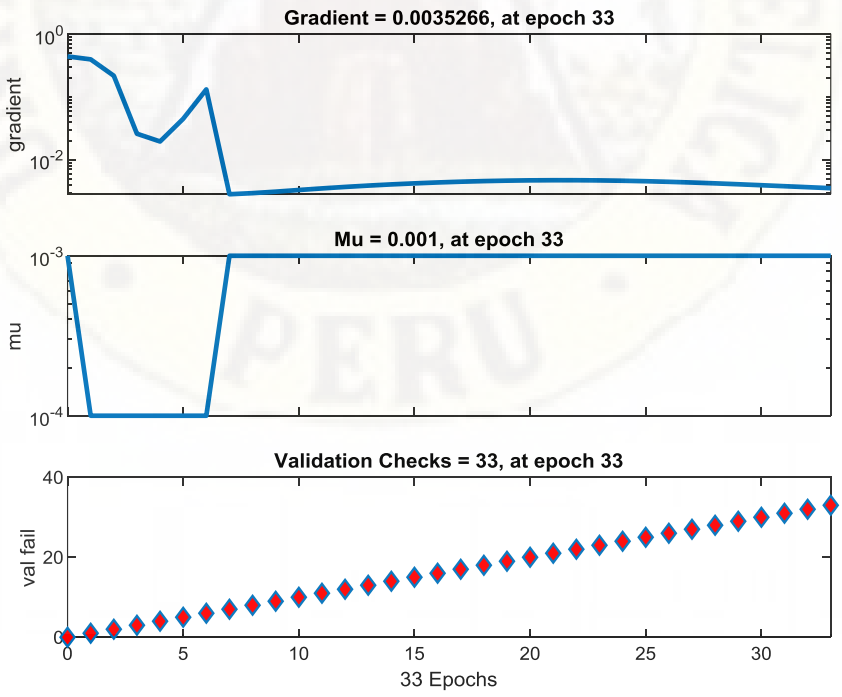


Regresión

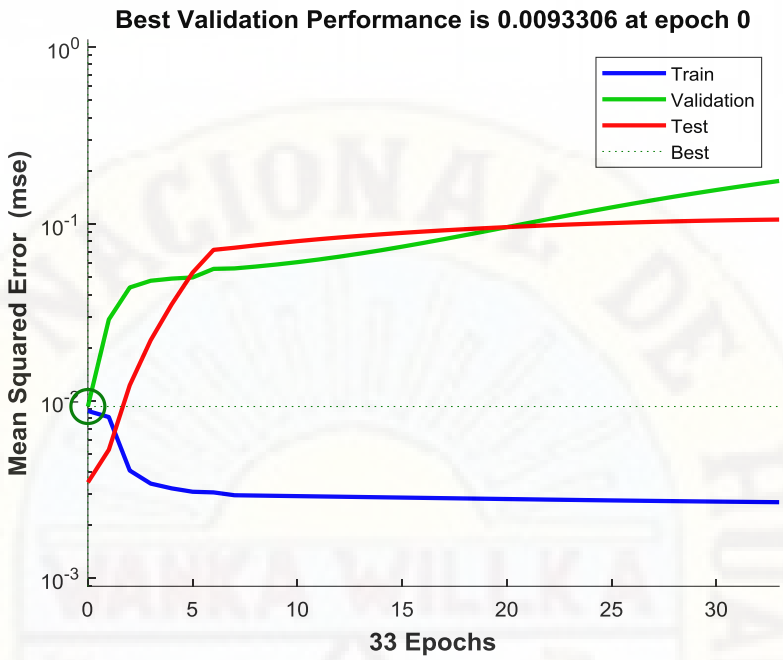


11) RED NEURONAL [20 10 5 1]

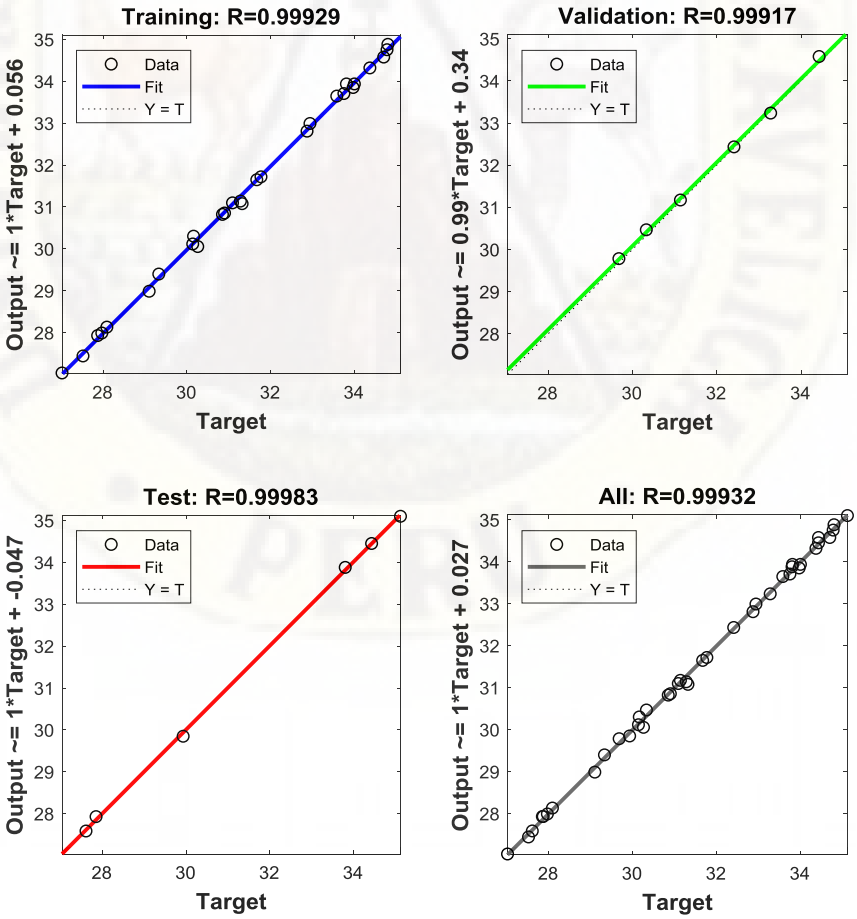
Entrenamiento



Performance

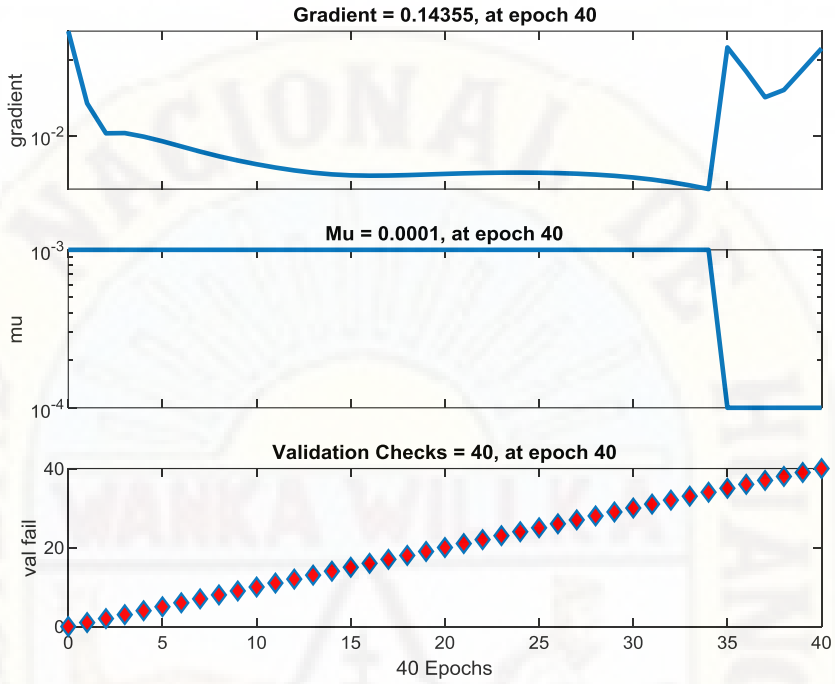


Regresión

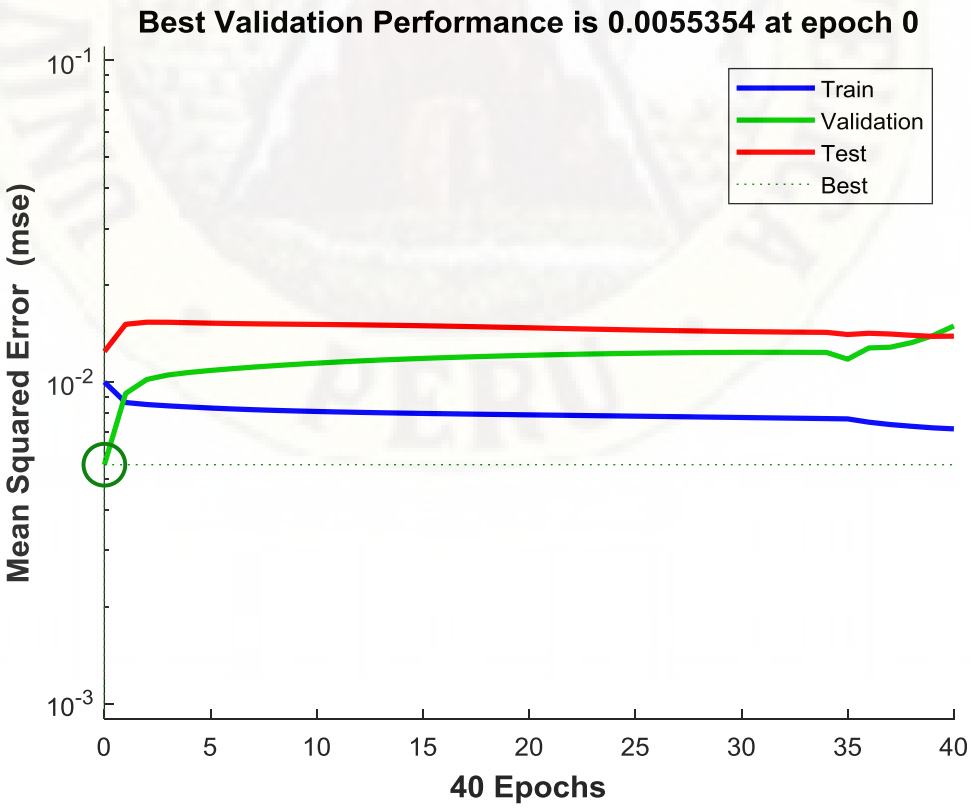


12) RED NEURONAL [20 10 8 1]

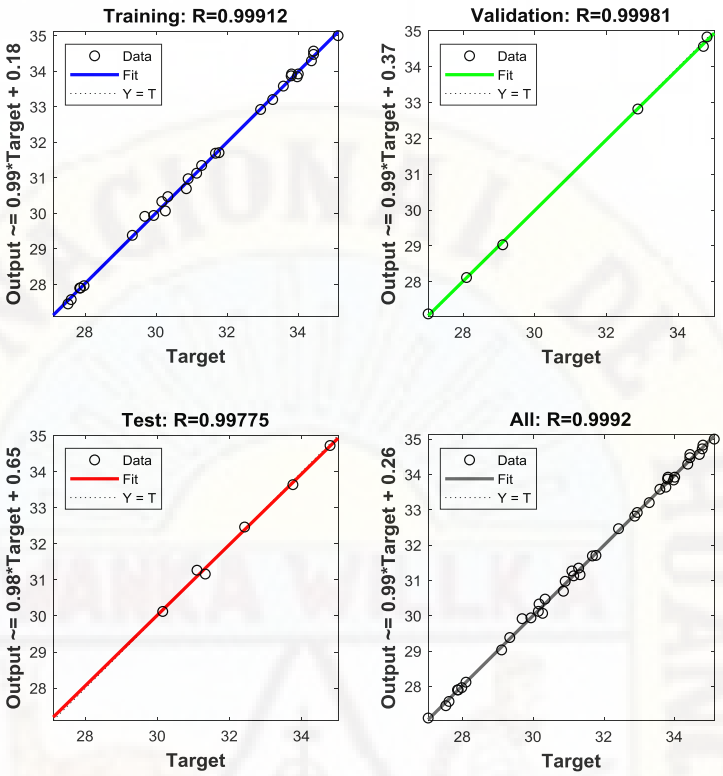
Entrenamiento



Performance

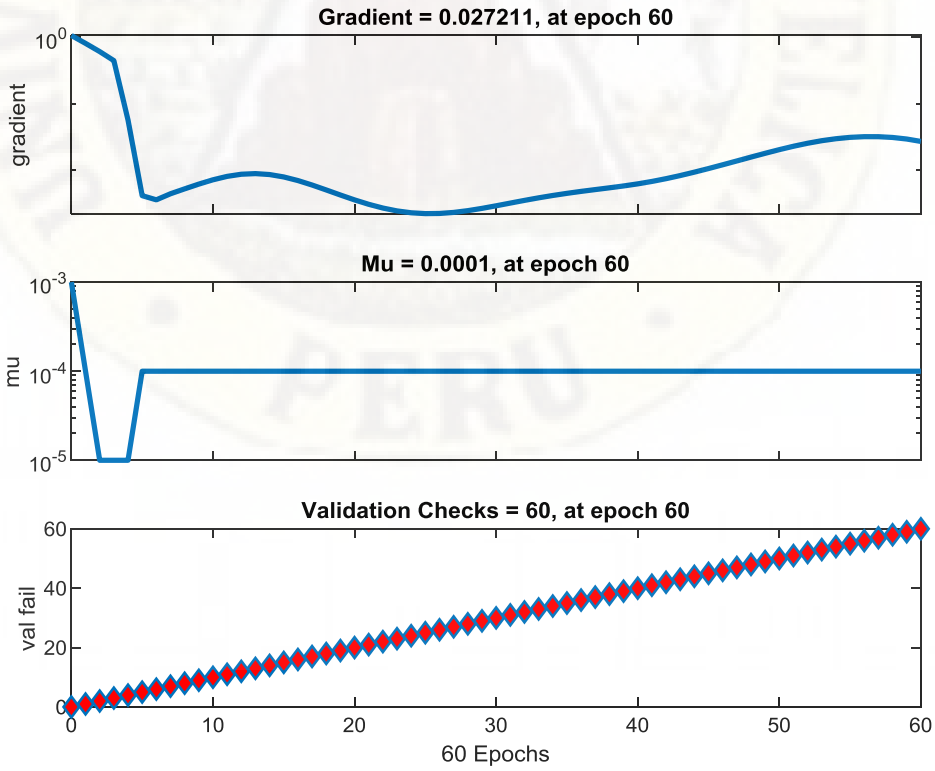


Regresión

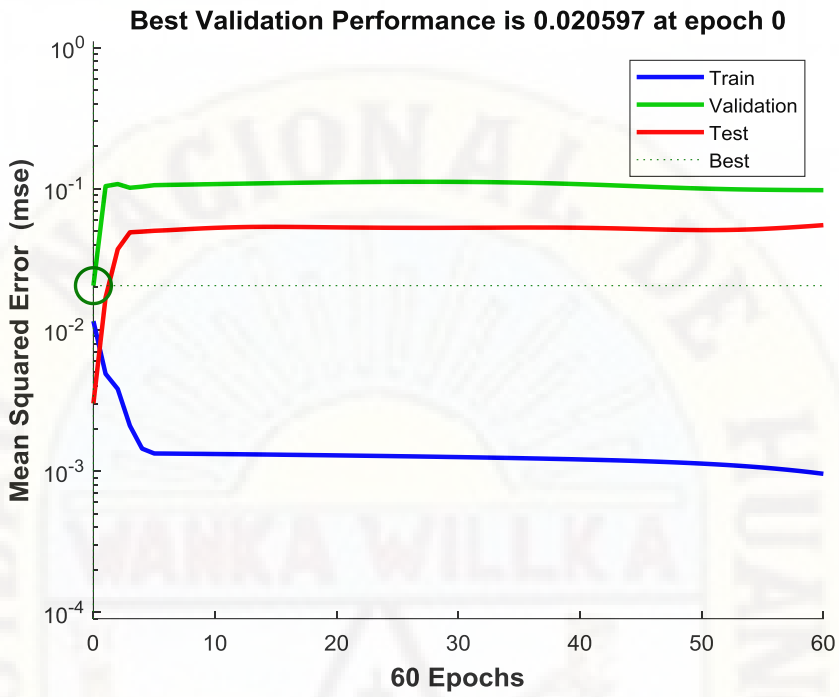


13) RED NEURONAL [20 9 7 1]

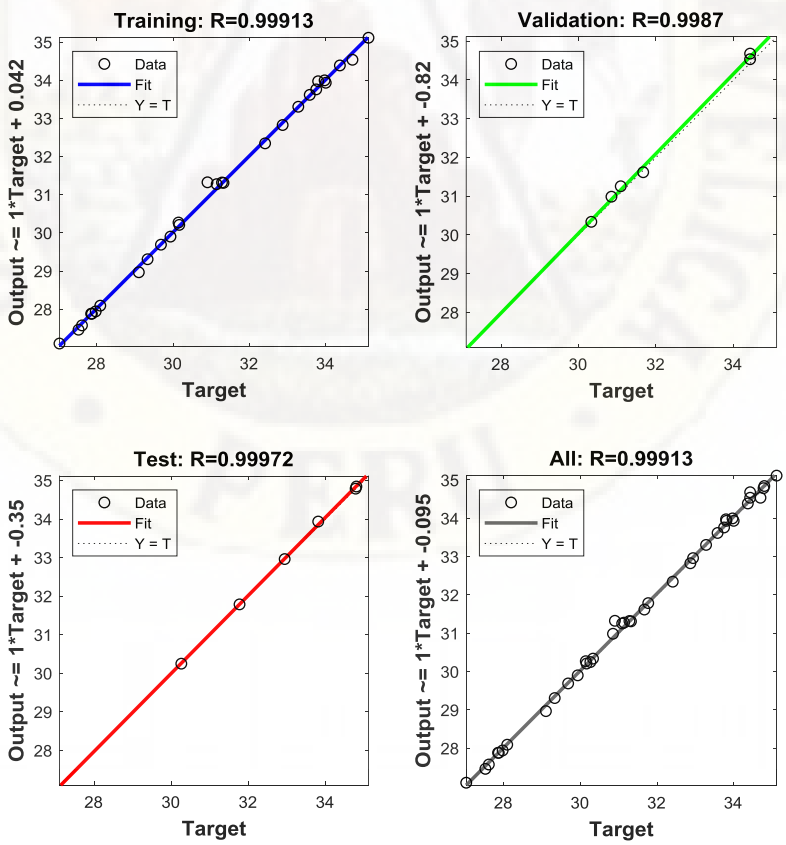
Entrenamiento



Performance

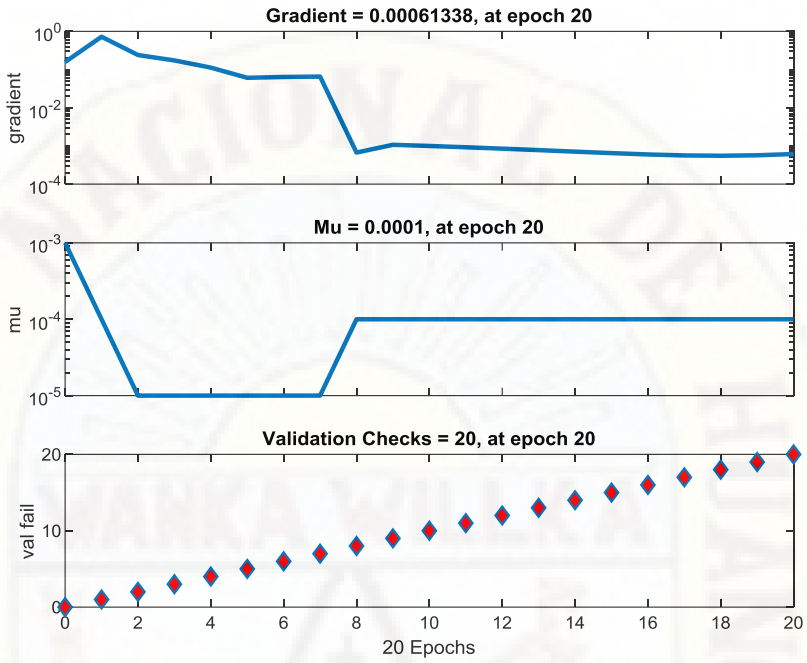


Regresión

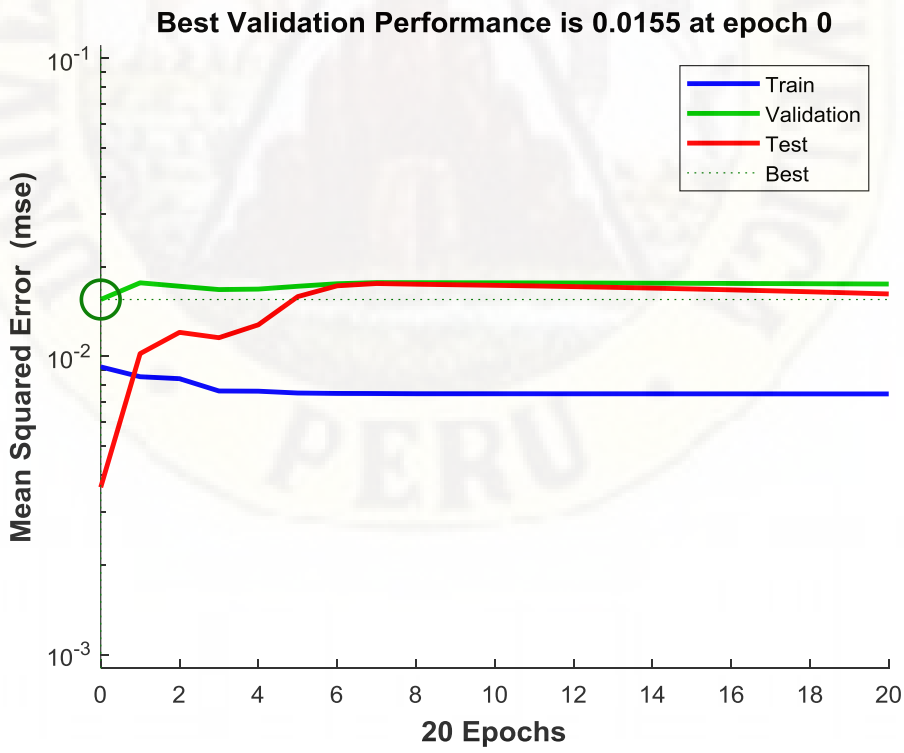


14) RED NEURONAL [20 7 4 1]

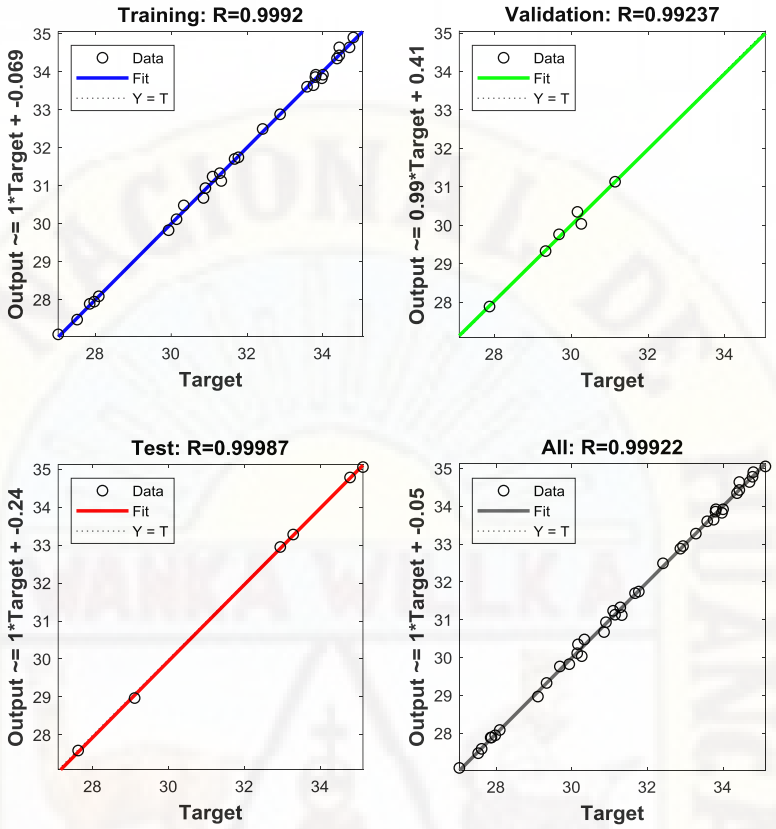
Entrenamiento



Performance

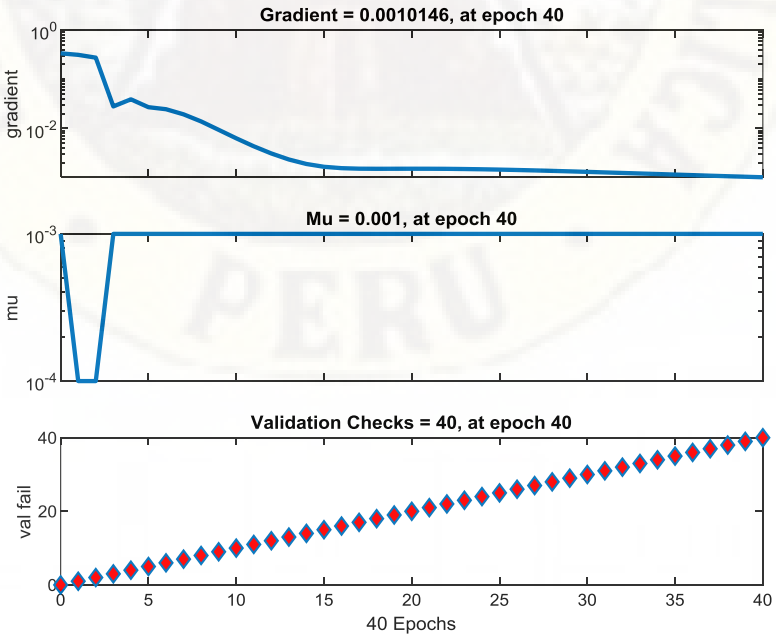


Regresión

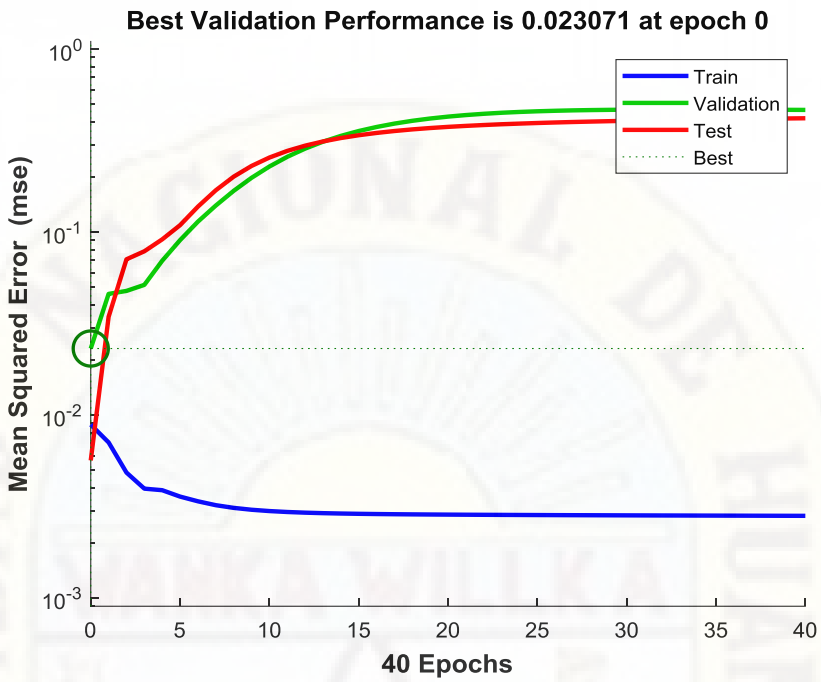


15) RED NEURONAL [20 6 5 1]

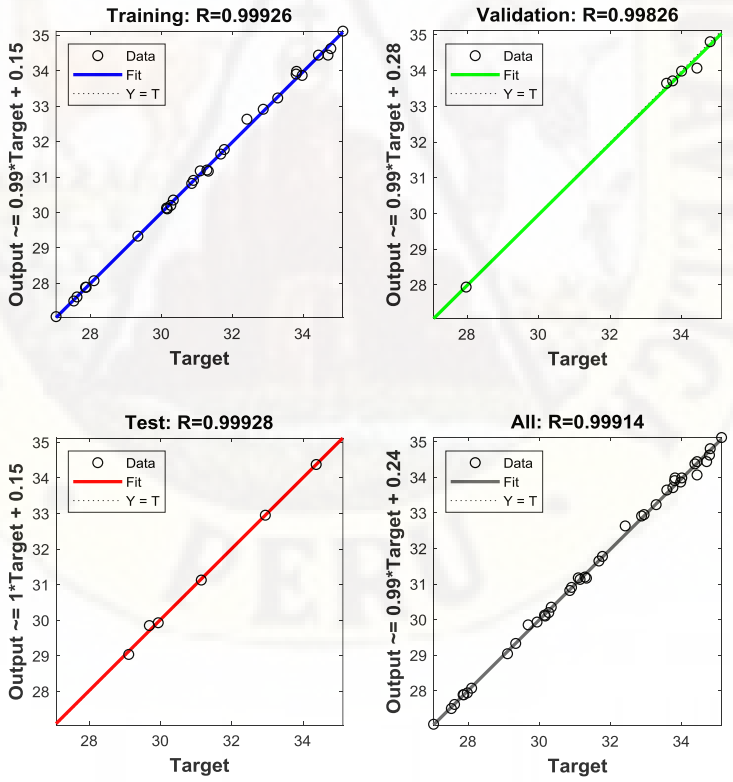
Entrenamiento



Performance



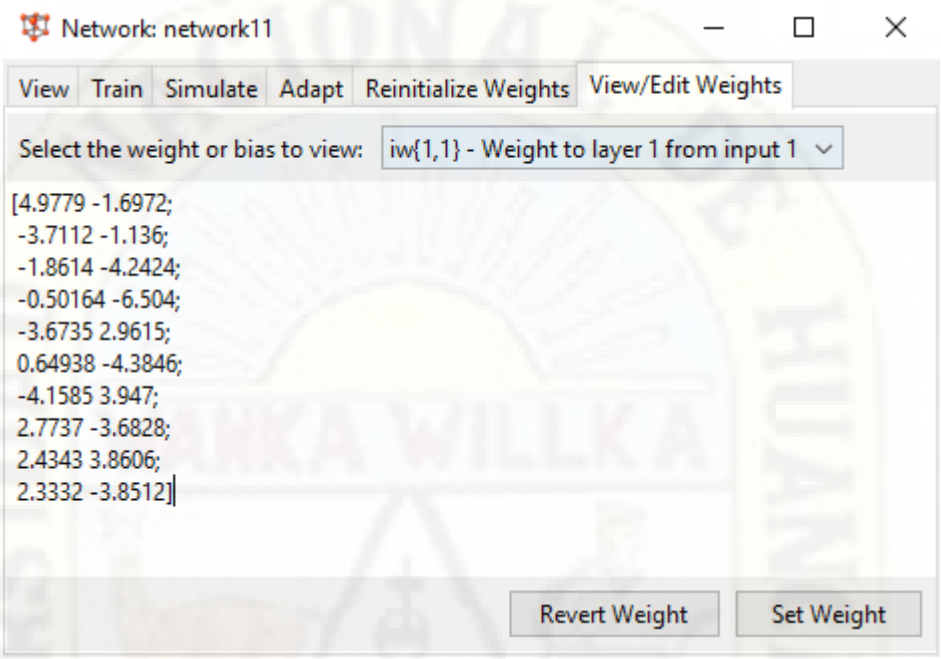
Regresión



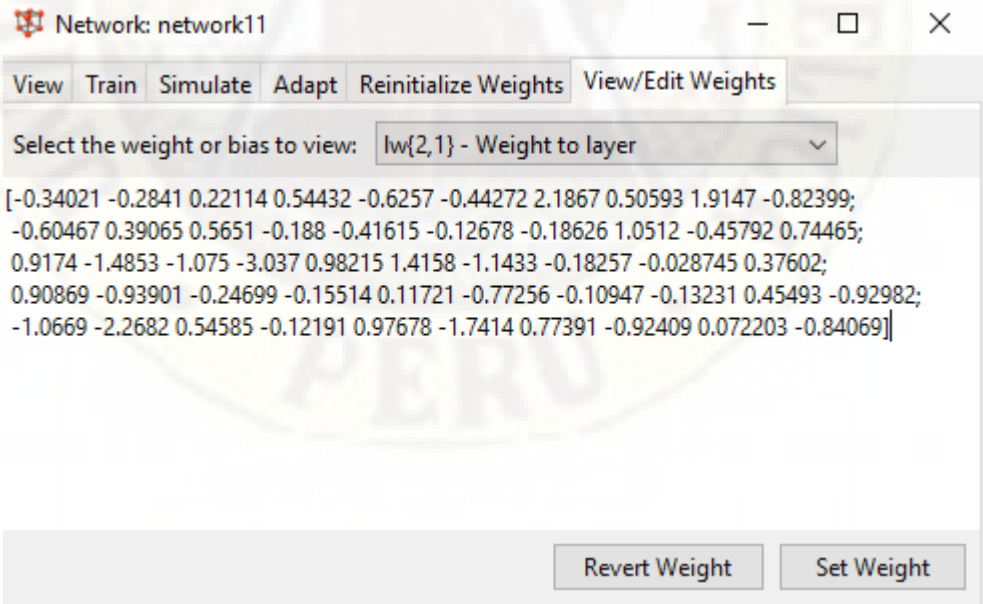
ESTRUCTURA DE LA RED NEURONAL

RED NEURONAL 11 [20 10 5 1]

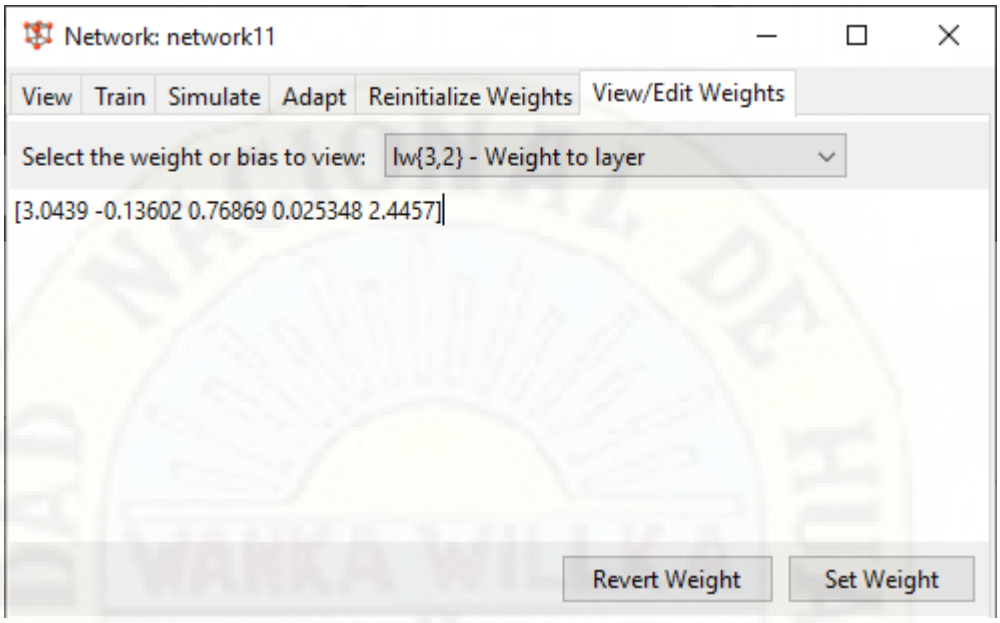
- Pesos de las neuronas de la capa entrada hacía la capa oculta 1.



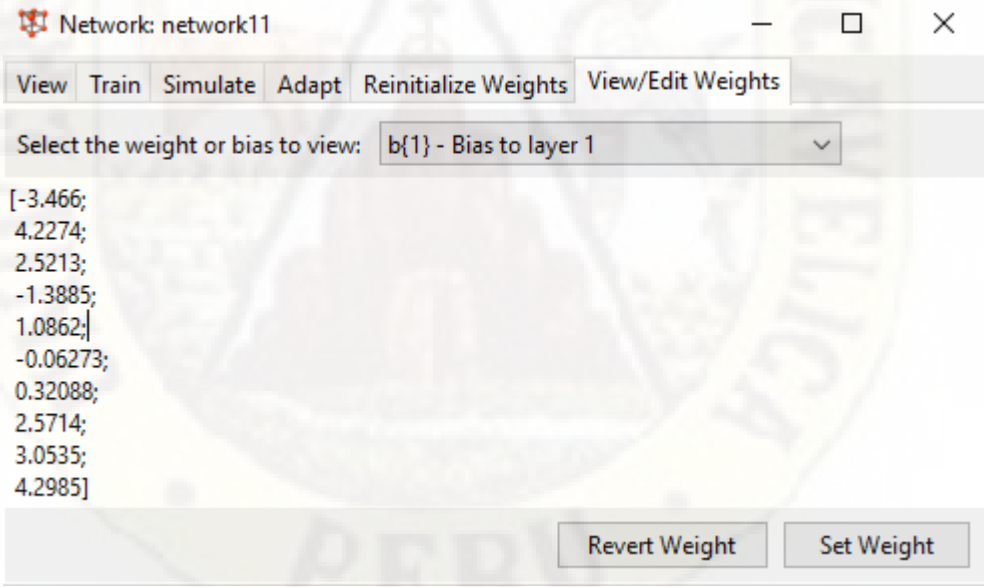
- Pesos de las neuronas de la capa oculta 1 hacia la capa oculta 2.



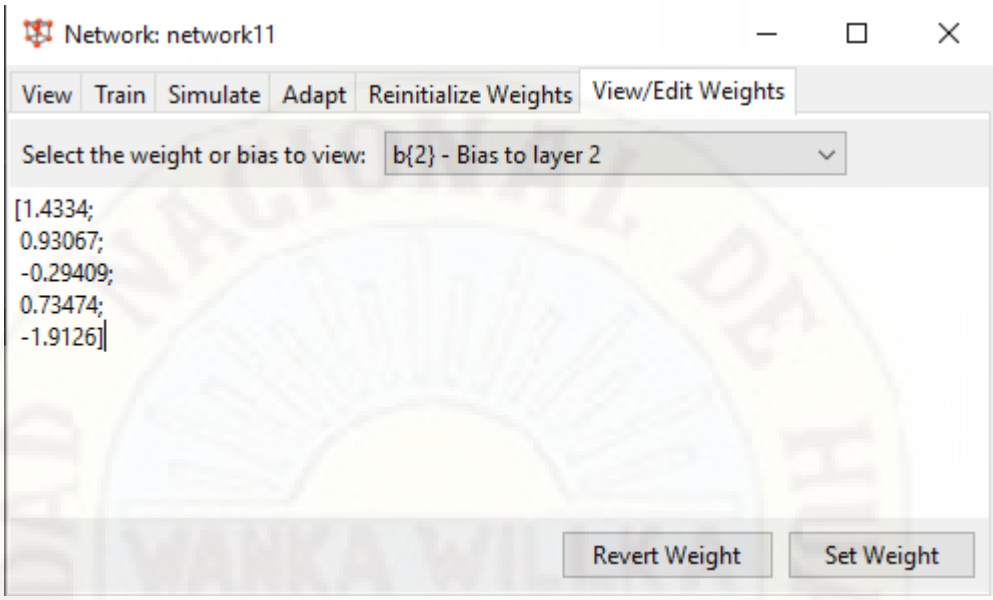
- Pesos de las neuronas de la capa oculta 2 hacia la capa de salida.



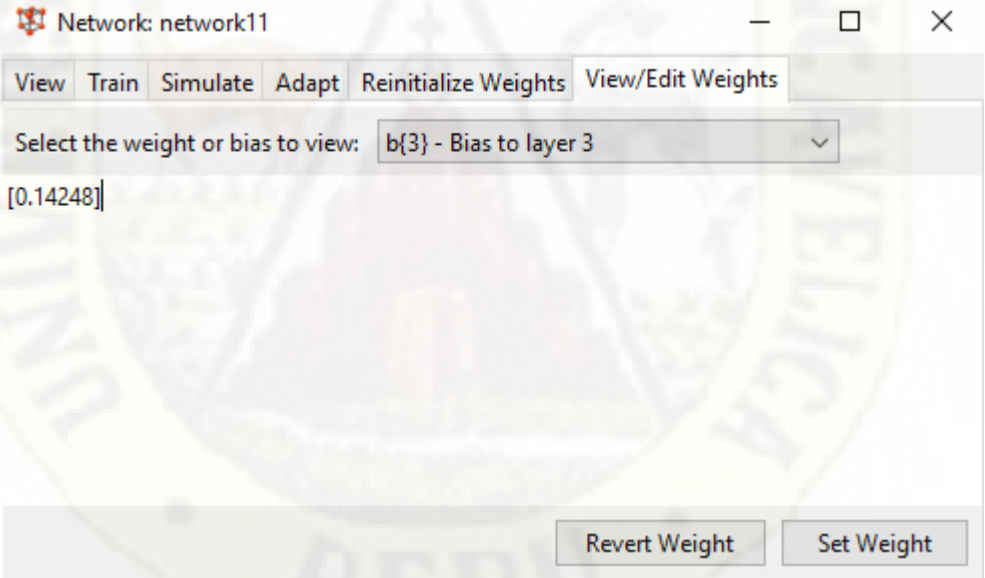
- Las bias (sesgo) de las neuronas de la capa oculta 1.



- Las bias (sesgo) de las neuronas de la capa oculta 2.



- Las bias (sesgo) de la neurona de la capa salida.



Apéndice 7: Matriz de consistencia.

Matriz de consistencia

Título:

"Influencia de las fibras de acero en la resistencia a tracción indirecta del concreto mediante redes neuronales artificiales."

Definición del problema	Objetivos	Antecedentes	Hipótesis	Variables y dimensiones	Metodología
Problema general ¿De qué manera influyen las fibras de acero en la resistencia a tracción indirecta del concreto mediante redes neuronales artificiales? **Problemas específicos:** • ¿De qué manera influye la adición de 30 kg/m^3 de fibras de acero en la resistencia a tracción indirecta del concreto mediante redes neuronales artificiales? • ¿De qué manera influye la adición de, 50 kg/m^3 de fibras de acero en la resistencia a tracción indirecta del concreto mediante redes neuronales artificiales? • ¿De qué manera influye la adición de, 70 kg/m^3 de fibras de acero en la resistencia a tracción indirecta del concreto mediante redes neuronales artificiales?	**Objetivo general** Determinar la influencia de las fibras de acero en la resistencia a tracción indirecta del concreto mediante redes neuronales artificiales. **Objetivos específicos:** • Determinar la influencia de la adición de 30 kg/m^3 de fibras de acero en la resistencia a tracción indirecta del concreto mediante redes neuronales artificiales. • Determinar la influencia de la adición de 50 kg/m^3 de fibras de acero en la resistencia a tracción indirecta del concreto mediante redes neuronales artificiales. • Determinar la influencia de la adición de 70 kg/m^3 de fibras de acero en la resistencia a tracción indirecta del concreto mediante redes neuronales artificiales.	**Internacional:** **Han, Zhao, Chen, y Lan (2019),** realizaron la investigación**:** "*Effects of steel fiber length and coarse aggregate maximum size on mechanical properties of steel fiber reinforced concrete*" **Lantsoght (2019),** realizó la siguiente investigación que tuvo por hombre: *"How do steel fibers improve the shear capacity of reinforced concrete beams without stirrups?"* **Chaboki, Ghalehnovi, Karimipour, Brito, y Mohsen, (2019),** desarrollaron la siguiente investigación: *"Shear behaviour of concrete beams with recycled aggregate and steel fibres"* **Nacional:** **Vásquez (2015),** realizó la investigación: *"Comportamiento mecánico del concreto con adición de fibra de acero para una resistencia de 500 kg/cm2"* **Ramos** (2019), realizó su investigación *"Análisis comparativo del comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibra de polipropileno y acero"* **Soto (2018),** realizó la investigación *"Análisis de la resistencia a la tracción del concreto de f'c = 210kg/cm2 reforzado con fibras de acero – Huánuco - 2016"* **Local:** En esta ciudad de Huancavelica no se encontró investigaciones realizadas por otros investigadores que guardan relación directa con el problema objeto de investigación, como también en función de nuestras variables.	**Hipótesis general** Las fibras de acero influyen significativamente en la resistencia a tracción indirecta del concreto mediante redes neuronales artificiales. **Hipótesis especifica** • La adición de 30 kg/m^3 de fibras de acero influyen significativamente en la resistencia a tracción indirecta del concreto mediante redes neuronales artificiales. • La adición de 50 kg/m^3 de fibras de acero influyen significativamente en la resistencia a tracción indirecta del concreto mediante redes neuronales artificiales. • La adición de 70 kg/m^3 de fibras de acero influyen significativamente en la resistencia a tracción indirecta del concreto mediante redes neuronales artificiales.	**Variable independiente:** Fibras de acero **Dimensiones:** • Adición de 30 kg/m^3, 50 kg/m^3 y 70 kg/m^3 de fibras de acero. **Variable dependiente:** Resistencia a tracción indirecta del concreto. **Dimensiones:** • Resistencia a tracción de f'c =210 kg/cm^2	**Tipo de Investigación:** Aplicativa **Nivel de Investigación:** Explicativa **Método General:** Método científico **Diseño:** Cuasi – Experimental GE: O1….x….O2 GC: O3 O4 G.E. Grupo experimental G.C. Grupo de control O1 y O3 Pre test O2 y O4 Post test X: Manipulación de la variable independiente. **Población y Muestra:** **Población:** Concreto f'c = 210 Kg/cm^2 con fibra de acero. **Muestra:** Probeta de concreto f'c = 210 Kg/cm^2 con fibra de acero y sin fibra de acero, curado a 28 días con la siguiente cantidad de fibra de acero por metro cúbico de concreto: • 0 kg/m^3 de concreto (patrón): 14 probetas. • 30 kg/m^3 de concreto: 14 probetas. • 50 kg/m^3 de concreto: 14 probetas. • 70 kg/m^3 de concreto: 14 probetas. **Muestreo:** No probabilístico de carácter intencional **Técnicas e Instrumentos:** **Técnicas:** • Fichaje • Observación • Análisis documental **Instrumentos:** • Redes neuronales artificiales • La lista de cotejo • Ficha de registro de datos • Análisis documental

Tesistas: Ccoyllar Urruchi, Engels Vladimir
Salazar De La Cruz, Santiago