



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL SISTEMAS Y ARQUITECTURA

Tesis

“Aplicación de redes neuronales artificiales en el ensayo de la resistencia a la compresión del concreto, utilizando agregados de la cantera Tres Tomas, distrito Mesones Muro - provincia Ferreñafe - región Lambayeque”

Para obtener el Título Profesional de:

Ingeniera Civil

Sandoval Gil Angie Jesús

Autor

Dr. Ing. Blas Rebaza Rocío del Pilar

Asesor

Para obtener el Título Profesional de:

Ingeniero de Sistemas

Bernabé Nuntón Jonathan Martín

Autor

Mg. Ing. Arteaga Lora Roberto

Asesor

**Lambayeque Perú
Agosto- 2021**



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL SISTEMAS Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

Tesis

“Aplicación de redes neuronales artificiales en el ensayo de la resistencia a la compresión del concreto, utilizando agregados de la cantera Tres Tomas, distrito Mesones Muro - provincia Ferreñafe - región Lambayeque”

Para obtener el Título Profesional de:

Ingeniera Civil

Aprobado por los Miembros del Jurado


DR. ING. JUAN HERMAN FARIAS FEIJOO
PRESIDENTE


DR. ING. CARLOS ERNESTO MONDRAGÓN CASTAÑEDA
SECRETARIO


ING. JORGE LUIS MARTÍNEZ SANTOS
VOCAL


DRA. ING. ROCIO DEL PILAR BLAS REBAZA
ASESORA


SANDOVAL GIL ANGIE JESÚS
AUTOR



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL SISTEMAS Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE SISTEMAS

Tesis

“Aplicación de redes neuronales artificiales en el ensayo de la resistencia a la compresión del concreto, utilizando agregados de la cantera Tres Tomas, distrito Mesones Muro - provincia Ferreñafe - región Lambayeque”

Para obtener el Título Profesional de:

Ingeniero de Sistemas

Aprobado por los Miembros del Jurado

ING. GAVINO MARCELO LOYAGA ORBEGOSO
PRESIDENTE

ING. OMAR WILTON SAAVEDRA SALAZAR
SECRETARIO

ING. JUAN ELIAS VILLEGAS CUBAS
VOCAL

MAG. ING. ROBERTO CARLOS ARTEAGA LORA
ASESOR

BERNABÉ NUNTÓN JONATHAN MARTÍN
AUTOR

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a Dios, nuestros padres, hermanos y abuelos, porque gracias a ustedes tenemos la oportunidad de vivir y tener la dicha de formar parte de esta hermosa familia que nos guía, aconseja y nos alienta en cada decisión tomada.

Principalmente a nuestros padres que nos comprendieron y apoyaron este proyecto dándonos aliento para seguir nuestros sueños y aspiraciones durante toda la carrera y siempre.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a nuestros padres y familiares, por el apoyo en cada paso dado fortaleciéndonos con sus consejos y experiencias vividas, para que podamos tomar independientemente las mejores decisiones.

A nuestros asesores Dra. Ing. Blas Rebaza Rocío del Pilar y Mg. Ing. Arteaga Lora Roberto, por todos sus consejos, recomendaciones y compartirnos todo sus conocimientos y experiencias.

A todas las personas que directa e indirectamente han apoyado en el desarrollo de esta tesis, aportándonos conocimiento, recomendaciones, consejos e incluso aliento.

RESUMEN

Durante los últimos años hemos atravesado el boom de la construcción en donde se han realizado diferentes inversiones a nivel público y privado en infraestructura civil, esto ha conllevado a que se realice un uso adecuado y eficaz de recursos, garantizando así que su diseño y ejecución cumpla con estándares de calidad del proyecto. Uno de los parámetros más importantes en el control de calidad del concreto es el ensayo de la resistencia a la compresión, del cual se obtienen su resultado de resistencia real distante de la fecha de su fabricación y vaciado. Buscando mejorar el proceso constructivo se planteó el uso de una Red Neuronal Artificial para optimizar el tiempo del ensayo de resistencia a la compresión del concreto tradicional, sin dejar de lado la eficacia de sus resultados. Se trabajó con una muestra de 294 probetas, de las cuales 240 datos sirvieron para su entrenamiento y validación y los restantes para evaluar el grado de generalización de la red. La base de datos se obtuvo a partir 5 dosificaciones, teniendo en cuenta las propiedades de los materiales, el método comité 211 ACI-2009 , ASTM C192 y Normativa Técnica Peruana. Los resultados obtenidos fueron analizados a través del método de Grubbs para constatar que no haya valores atípicos (outliers). La modelización se hizo a través de una Red Neuronal Artificial Profunda con aprendizaje supervisado cuya función de transferencia es RELU, además de usar librerías de Python su entrenamiento se hizo con el algoritmo de Backpropagation. Los coeficientes de determinación obtenidos en el entrenamiento y comprobación son 0.9241 y 0.8192 respectivamente, esto quiere decir que el modelo desarrollado consigue estimar la resistencia a la compresión del concreto con un nivel de aceptabilidad coherente con los obtenidos por otros autores consultados.

ABSTRACT

During the last years we have gone through the construction boom where different investments have been made at the public and private level in civil infrastructure, this has led to an adequate and effective use of resources, ensuring that their design and execution complies with project quality standards. One of the most important parameters in the quality control of concrete is the compressive strength test, from which its result of real strength distant from the date of its manufacture and casting are obtained. Seeking to improve the construction process, the use of an Artificial Neural Network was considered to optimize the time of the compression resistance test of traditional concrete, without neglecting the effectiveness of its results. We worked with a sample of 294 test pieces, of which 240 data were used for training and validation and the rest to evaluate the degree of generalization of the network. The database was obtained from 5 dosages, taking into account the properties of the materials, the committee method 211 ACI-2009, ASTM C192 and Peruvian Technical Regulations. The results obtained were analyzed through the Grubbs method to verify that there are no outliers. The modeling was done through a Deep Artificial Neural Network with supervised learning whose transfer function is RELU, in addition to using Python libraries, its training was done with the Backpropagation algorithm. The determination coefficients obtained in training and testing are 0.9241 and 0.8192 respectively, this means that the developed model manages to estimate the compressive strength of concrete with a level of acceptability consistent with those obtained by other consulted authors

ÍNDICE

CAPÍTULO I	14
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	15
1.2.1 PREGUNTA GENERAL	15
1.3 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	15
1.3.1 HIPÓTESIS GENERAL	15
1.4 OBJETIVOS	15
1.4.1 OBJETIVO GENERAL	15
1.4.2 OBJETIVO ESPECÍFICO	15
1.5 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	16
1.6 ALCANCES Y LIMITACIONES	16
1.6.1 ALCANCES	16
1.6.2 LIMITACIONES	16
1.7 PROPUESTA	17
CAPÍTULO II	18
2.1 ANTECEDENTES	18
2.1.1 ANTECEDENTES INTERNACIONALES	18
2.1.2 ANTECEDENTES NACIONALES	20
2.2 PROPIEDADES DE LOS MATERIALES	21
2.2.1 AGREGADO GRUESO	21
2.2.2 AGREGADO FINO	33
2.2.3 CEMENTO	41
2.2.4 AGUA PARA LA ELABORACIÓN DEL CONCRETO (NTP 339.088:2006)	45
2.3 PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS DE CONCRETO	48
2.3.1 INFORMACIÓN REQUERIDA PARA UN DISEÑO DE MEZCLA	48
2.3.2 PASOS PARA EL DISEÑO DE MEZCLA	48
2.4 ENSAYOS DE CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO	51
2.4.1 MEDICIÓN DEL ASENTAMIENTO (NTP 339.035:2009)	51
2.4.2 ESFUERZO A COMPRESIÓN EN ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO (NTP 339.034:2008)	54
2.4.3 TIPOS DE FALLA EN PROBETAS	55
2.5 INTELIGENCIA ARTIFICIAL	56
2.6 TIPOS DE APRENDIZAJE	57

2.6.1 APRENDIZAJE SUPERVISADO	58
2.6.2 APRENDIZAJE NO SUPERVISADO	59
2.6.3 APRENDIZAJE REFORZADO.....	60
2.7 RELACIÓN ENTRE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL, MACHINE LEARNING Y DEEP LEARNING	61
2.7.1 INTELIGENCIA ARTIFICIAL	61
2.7.2 MACHINE LEARNING	63
2.7.3 DEEP LEARNING.....	65
2.8 NEURONAS ARTIFICIALES	66
2.9 REDES NEURONALES ARTIFICIALES.....	70
2.9.1 FUNCIÓN DE ACTIVACIÓN	72
2.10 CLASIFICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES	75
2.10.1 CLASIFICACIÓN SEGÚN SU TIPOLOGÍA O ESTRUCTURA DE LA RED	75
2.10.2 CLASIFICACIÓN SEGÚN SU ALGORITMO DE APRENDIZAJE.....	76
2.11 EL APRENDIZAJE AUTOMÁTICO DE UNA RED NEURONAL.....	77
2.11.1 DESCENSO DEL GRADIENTE	78
2.11.2 BACKPROPAGATION	80
2.12 PYTHON	83
2.12.1 ENTORNO ANACONDA NAVIGATOR.....	84
2.12.2 LIBRERÍAS.....	84
CAPÍTULO III.....	87
3.1 ELABORACIÓN Y CURADO DE ESPECÍMENES DE CONCRETO EN LABORATORIO	87
3.1.1 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA.....	89
3.1.2 PROCEDIMIENTO DE REALIZACIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS..	89
3.1.3 CURADO	90
3.1.4 PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO..	91
3.2 CRITERIO EMPLEADO POR EL RNE Y ACI 318 PARA LA ACEPTACIÓN DEL CONCRETO.....	92
3.3 DISEÑO DE LAS REDES NEURONALES ARTIFICIALES EN PYTHON.....	93
3.3.1 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA.....	93
3.3.2 DATOS	94
3.3.3 LIBRERÍAS EN PYTHON	95

3.3.4 EVALUACIÓN DE RESULTADOS.....	96
CAPÍTULO IV	98
4.1 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	98
4.1.1 MUESTRA PARA UNA POBLACIÓN DESCONOCIDA.....	98
4.1.2 ANÁLISIS DE DATOS.....	101
4.2 PREPARACIÓN DE LOS FEATURES Y DATOS.....	114
4.2.1 DISEÑO DE FEATURES	114
4.2.2 DESCRIPCIÓN DE LOS DATOS	116
4.3 MODELO DE LA RED NEURONAL ARTIFICIAL.....	117
4.4 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS RESULTADOS	118
4.5 CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS	120
CAPÍTULO V	122
5.1 CONCLUSIONES	122
5.2 RECOMENDACIONES	124
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	126
LINKOGRAFÍA	130
ANEXOS.....	133
ANEXO A.....	133
ANEXO B.....	135
ANEXO C.....	145
ANEXO D.....	163
ANEXO E	166
ANEXO F	186
ANEXO G.....	214
ANEXO H.....	229
ANEXO I	235
ANEXO J.....	258

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Cantidad mínima de la muestra del agregado grueso	22
Tabla 2 Requisitos granulométricos del agregado grueso, porcentajes que pasa por tamices normalizados	24
Tabla 3 Análisis granulométrico del agregado grueso.....	25
Tabla 4 Peso mínimo de la muestra de ensayo	27
Tabla 5 Capacidad de la medida	29
Tabla 6 Requisitos para los recipientes de medida	29
Tabla 7 Masa mínima de la muestra a usar del agregado grueso.....	32
Tabla 8 Límites de gradación en granulometría del agregado fino	34
Tabla 9 Análisis granulométrico del agregado fino	34
Tabla 10 Cantidad mínima de la muestra seca	39
Tabla 11 Fraguado del concreto elaborado con cemento Pacasmayo Antisalitre MS	43
Tabla 12 Calor de hidratación del Pacasmayo Antisalitre MS	43
Tabla 13 Componentes químicos del cemento Portland.....	44
Tabla 14 Compuestos químicos del Cemento Portland	45
Tabla 15 Límites máximos permisibles de parámetros de calidad	46
Tabla 16 Resistencia requerida	49
Tabla 17 Relación A/C	49
Tabla 18 Concreto expuesto a soluciones de sulfato	50
Tabla 19 Cálculo del agua	50
Tabla 20 Asentamientos recomendados para diversos tipos de construcción y sistema de colocación	53
Tabla 21 Requisitos de la barra compactadora	88
Tabla 22 Número de capas y apisonado por especímenes	88
Tabla 23 Determinación de una muestra con una población desconocida	100
Tabla 24 Número de ensayos por edad realizados.....	100
Tabla 25 Diseño de mezclas según dosificación	101
Tabla 26 Preparación de datos para ser usados en el Método de Grubbs	103
Tabla 27 Medidas de posición de datos obtenidos en ensayos de resistencia a la compresión del concreto.....	105
Tabla 28 Medidas de dispersión de datos obtenidos en ensayos de resistencia a la compresión del concreto	107
Tabla 29 Intervalos de confianza para resistencias a la compresión del concreto	113
Tabla 30 Resultados de los ensayos físicos	114
Tabla 31 Nueva dimensión de los resultados de ensayo.....	115
Tabla 32 Matriz de correlación con datos numéricos	116
Tabla 33 Descripción de los datos	117
Tabla 34 Descripción de los datos	119
Tabla 35 Resultados del proceso del desarrollo de la RNA	120
Tabla 36 Análisis granulométrico del agregado fino proveniente de la cantera Tres Tomas	135
Tabla 37 Límites de gradación en granulometría del agregado fino	136
Tabla 38 Análisis granulométrico del agregado grueso proveniente de la cantera Tres Tomas....	137
Tabla 39 Peso específico del agregado fino proveniente de la cantera Tres Tomas.....	139
Tabla 40 Peso específico del agregado grueso proveniente de la cantera Tres Tomas	139
Tabla 41 Peso unitario suelto del agregado fino proveniente de la cantera Tres Tomas....	140
Tabla 42 Peso unitario suelto del agregado grueso proveniente de la cantera Tres Tomas	140

Tabla 43	Peso unitario compactado del agregado fino proveniente de la cantera Tres Tomas	141
Tabla 44	Peso unitario compactado del agregado grueso proveniente de la cantera Tres Tomas .	141
Tabla 45	Porcentaje de absorción del agregado fino proveniente de la cantera Tres Tomas	142
Tabla 46	Porcentaje de absorción del agregado grueso proveniente de la cantera Tres Tomas	142
Tabla 47	Contenido de humedad del agregado fino proveniente de la cantera Tres Tomas	143
Tabla 48	Contenido de humedad del agregado grueso proveniente de la cantera Tres Tomas	143
Tabla 49	Contenido de agregado fino que pasa la malla N°200 proveniente de la cantera Tres Tomas ...	144
Tabla 50	Valores de la tabla de Grubbs	163
Tabla 51	Desviación estándar para diferentes estándares de control, en ensayos de resistencia a la compresión del concreto.....	163
Tabla 52	Coeficientes de Variación para diferentes estándares de control, en ensayos de resistencia a la compresión del concreto.....	164
Tabla 53	Tabla de la distribución T- STUDENT con r grados de libertad.....	165
Tabla 54	Resultados del ensayo de la resistencia a la compresión del concreto $f'c = 175 \text{ Kg/cm}^2$	166
Tabla 55	Resultados del ensayo de la resistencia a la compresión del concreto $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$	168
Tabla 56	Resultados del ensayo de la resistencia a la compresión del concreto $f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$	169
Tabla 57	Resultados del ensayo de la resistencia a la compresión del concreto $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$	172
Tabla 58	Resultados del ensayo de la resistencia a la compresión del concreto $f'c = 310 \text{ Kg/cm}^2$	174
Tabla 59	Ensayo de calidad del concreto en estado fresco $f'c = 175 \text{ Kg/cm}^2$	176
Tabla 60	Ensayo de calidad del concreto en estado fresco $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$	178
Tabla 61	Ensayo de calidad del concreto en estado fresco $f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$	178
Tabla 62	Ensayo de calidad del concreto en estado fresco $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$	180
Tabla 63	Ensayo de calidad del concreto en estado fresco $f'c = 310 \text{ Kg/cm}^2$	182
Tabla 64	Análisis de Outliers utilizando el método de Grubbs para un diseño de $f'c = 175 \text{ Kg/cm}^2$	186
Tabla 65	Datos utilizados para el test de Grubbs al 95% confianza, para $f'c = 175 \text{ Kg/cm}^2$	188
Tabla 66	Análisis de Outliers utilizando el método de Grubbs para un diseño de $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$	189
Tabla 67	Datos utilizados para el test de Grubbs al 95% confianza, para $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$	191
Tabla 68	Análisis de Outliers utilizando el método de Grubbs para un diseño de $f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$	192
Tabla 69	Datos utilizados para el test de Grubbs al 95% confianza, para $f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$	194
Tabla 70	Análisis de Outliers utilizando el método de Grubbs para un diseño de $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$	195
Tabla 71	Datos utilizados para el test de Grubbs al 95% confianza, para $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$	197
Tabla 72	Análisis de Outliers utilizando el método de Grubbs para un diseño de $f'c = 310 \text{ Kg/cm}^2$	198
Tabla 73	Datos utilizados para el test de Grubbs al 95% confianza, para $f'c = 310 \text{ Kg/cm}^2$	200
Tabla 74	Segundo análisis de Outliers utilizando el método de Grubbs para un diseño de $f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$	201
Tabla 75	Datos utilizados para el test de Grubbs al 95% confianza, para $f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$	203
Tabla 76	Segundo análisis de Outliers utilizando el método de Grubbs para un diseño de $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$	204

Tabla 77 Datos utilizados para el test de Grubbs al 95% confianza, para $f'c= 280 \text{ Kg/cm}^2$	206
Tabla 78 Segundo análisis de Outliers utilizando el método de Grubbs para un diseño de $f'c=310 \text{ Kg/cm}^2$	207
Tabla 79 Datos utilizados para el test de Grubbs al 95% confianza, para $f'c= 310 \text{ Kg/cm}^2$	209
Tabla 80 Tercer análisis de Outliers utilizando el método de Grubbs para un diseño de $f'c=250 \text{ Kg/cm}^2$	210
Tabla 81 Datos utilizados para el test de Grubbs al 95% confianza, para $f'c= 250 \text{ Kg/cm}^2$	212
Tabla 82 Análisis de los resultados obtenidos para una resistencia de $f'c= 175 \text{ Kg/cm}^2$	214
Tabla 83 Medidas de posición para $f'c= 175 \text{ Kg/cm}^2$	214
Tabla 84 Medidas de dispersión para $f'c= 175 \text{ Kg/cm}^2$	215
Tabla 85 Análisis de los resultados obtenidos para una resistencia de $f'c= 210 \text{ Kg/cm}^2$	216
Tabla 86 Medidas de posición para $f'c= 210 \text{ Kg/cm}^2$	216
Tabla 87 Medidas de dispersión para $f'c= 210 \text{ Kg/cm}^2$	217
Tabla 88 Análisis de los resultados obtenidos para una resistencia de $f'c= 250 \text{ Kg/cm}^2$	218
Tabla 89 Medidas de posición para $f'c= 250 \text{ Kg/cm}^2$	218
Tabla 90 Medidas de dispersión para $f'c=250 \text{ Kg/cm}^2$	219
Tabla 91 Análisis de los resultados obtenidos para una resistencia de $f'c= 280 \text{ Kg/cm}^2$	220
Tabla 92 Medidas de posición para $f'c= 280 \text{ Kg/cm}^2$	220
Tabla 93 Medidas de dispersión para $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$	221
Tabla 94 Análisis de los resultados obtenidos para una resistencia de $f'c= 310 \text{ Kg/cm}^2$	222
Tabla 95 Medidas de posición para $f'c= 310 \text{ Kg/cm}^2$	222
Tabla 96 Medidas de dispersión para $f'c=310 \text{ Kg/cm}^2$	223
Tabla 97 Resistencias obtenidas para comprobación de la RNA	229
Tabla 98 Control de calidad del concreto fresco para comprobación de la RNA	232
Tabla 99 Capas ocultas y coeficientes de determinación de la RNA	242

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Curva granulométrica del agregado grueso. Elaboración propia.....	25
Ilustración 2: Curva granulométrica del agregado fino. Elaboración propia.....	35
Ilustración 3: Análisis fisicoquímico de muestra de agua	47
Ilustración 4: Características del cono de Abrams.....	52
Ilustración 5: Proceso de ensayo de asentamiento del concreto fresco.....	52
Ilustración 6: Esquema de los patrones de tipos de fracturas.....	55
Ilustración 7: Diagrama del Flujo del Aprendizaje Supervisado	58
Ilustración 8: Diagrama del Flujo del Aprendizaje No Supervisado	59
Ilustración 9: Diagrama del Flujo del Aprendizaje por Refuerzo	60
Ilustración 10: Tipos de Inteligencia Artificial	62
Ilustración 11: Subcategorías de la Inteligencia Artificial	63
Ilustración 12: Técnicas de Machine Learning	64
Ilustración 13: Aprendizaje Jerarquizado de una Red Neuronal Artificial	65
Ilustración 14: Matemáticas de una Neurona.....	67
Ilustración 15: Modelo de una neurona.....	68
Ilustración 16: Compuerta Lógica AND	69
Ilustración 17: Compuerta Lógica OR	69
Ilustración 18: Compuerta Lógica XOR	70
Ilustración 19: Capas de una Red Neuronal Artificial	71
Ilustración 20: Arquitectura de Red Neuronal Artificial.....	71
Ilustración 21: Función Sigmoidal	73
Ilustración 22: Función Tangente Hiperbólica.....	74
Ilustración 23: Función RELU	74
Ilustración 24: Descenso de Gradiente.....	79
Ilustración 25: Matriz de correlación	115
Ilustración 26: Matriz de correlación con reducción de features	116
Ilustración 27: Arquitectura de la RNA propuesta.....	118
Ilustración 28: Varianza de los valores reales y de la RNA.....	118
Ilustración 29: Valores reales y simulados de la resistencia a la compresión del concreto	119
Ilustración 30: Varianza de los valores reales y de la RNA en la comprobación.....	120
Ilustración 31: Curva granulométrica del agregado fino.....	136
Ilustración 32: Curva granulométrica del agregado grueso	138
Ilustración 33: Librerías y manejo de datos	235
Ilustración 34: Creaciones de la red neuronal artificial	236
Ilustración 35: Estadísticas del modelo de RNA.....	237
Ilustración 36: Ejemplo de un dato real y un dato simulados por la RNA.....	237
Ilustración 37: Estadística del modelo de redes neuronales artificiales	238
Ilustración 38: Comprobaciones de función de activación	239
Ilustración 39: Combinaciones de redes neuronales artificiales	240
Ilustración 40: Cross Validation y media del nivel de confiabilidad, junto a su tiempo de entrenamiento	241
Ilustración 41: Estratigrafía de la cantera tres tomas	258
Ilustración 42: Punto de extracción del agregado grueso proveniente de la cantera Tres Tomas.....	258
Ilustración 43: Punto de extracción de los agregados	259

Ilustración 44: Realización del ensayo de peso unitario compactado del agregado grueso	260
Ilustración 45: Análisis granulométrico del agregado grueso.....	260
Ilustración 46: Pesado de muestra en balanza manual, que fue utilizado en el ensayo de contenido de humedad.....	261
Ilustración 47: Elaboración del ensayo para obtención del peso específico del agregado fino, haciendo uso del matraz.....	261
Ilustración 48: Hermetización de muestras, para evitar la variabilidad de sus propiedades originales de los agregados que fueron utilizadas en diversos ensayo.	262
Ilustración 49: Varillado de mezcla de concreto fresco en moldes 6"x 12"	263
Ilustración 50: Eliminación de burbujas de aire de las probetas haciendo uso del mazo de goma	263
Ilustración 51: Elaboración de mezclas de concreto	264
Ilustración 52: Probetas cilíndricas elaboradas en el Laboratorio de Ensayo de Materiales, cuyas dimensiones son 6" x 12".....	264
Ilustración 53: Rotura de probeta cuya resistencia es de 175 Kg/cm ² con 28 días de edad, en donde se observa una falla tipo V debido a que presenta fractura en una de sus bases	265
Ilustración 54: Rotura de probeta cuya resistencia es de 280 Kg/cm ² con 28 días de edad, en donde se observa una falla tipo III debido que hubo concavidad en una de las placas de la carga	265
Ilustración 55: Rotura de probeta cuya resistencia es de 280 Kg/cm ² con 14 días de edad, en donde se observa una falla tipo V.....	266
Ilustración 56: Rotura de probeta cuya resistencia es de 280 Kg/cm ² con 14 días de edad, en donde se observa una falla tipo IV debido a que la probeta resistió una carga cercana al valor proyectado.....	266
Ilustración 57: Rotura de probeta cuya resistencia es de 280 Kg/cm ² con 7 días de edad, observándose una falla tipo V	267
Ilustración 58: Rotura de probeta cuya resistencia es de 310 Kg/cm ² con 14 días de edad, observándose una falla tipo IV debido a que la probeta resistió una carga cercana al valor proyectado.....	267
Ilustración 59: Rotura de probeta en el laboratorio de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil, Sistemas y Arquitectura en la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo	268
Ilustración 60: Rotura de probetas a los 28 días de edad en el laboratorio de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil, Sistemas y Arquitectura en la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo	268
Ilustración 61: Certificado de calibración de prensa de concreto del laboratorio de ensayo de materiales de la Facultad de Ingeniería Civil, Sistemas y Arquitectura de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo	269
Ilustración 62: Certificado de calibración de prensa de concreto del laboratorio de ensayo de materiales de la Facultad de Ingeniería Civil, Sistemas y Arquitectura de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo	270
Ilustración 63: Certificado de calibración de prensa de concreto del laboratorio de ensayo de materiales de la Facultad de Ingeniería Civil, Sistemas y Arquitectura de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo	271
Ilustración 64: Constancia de ensayos realizados en el laboratorio de ensayo de materiales y estructuras de la Facultad de Ingeniería Civil, Sistemas y Arquitectura de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo	272

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad, la inversión realizada a nivel público y privado en infraestructura civil se ha incrementado considerablemente. Esto involucra el uso adecuado y eficaz de recursos utilizados. Para todo proyecto se debe garantizar que su diseño y ejecución cumpla con estándares de calidad. Uno de los parámetros más importantes en el control de calidad es el ensayo de la resistencia a la compresión del concreto. El proceso actual para determinar la resistencia del concreto, consiste en tomar muestras con diferentes diseños; las cuales son sometidas a un proceso de curado y posteriormente ensayadas en periodos de 7, 14 y 28 días. Obteniendo así los resultados de su resistencia real distante a la fecha de fabricación o vaciado.

Actualmente la optimización y productividad en este tipo de ensayo podría ser más rápida, sin dejar de lado la eficacia de sus resultados. En la Región Lambayeque aún no existe registro del uso de nuevas tecnologías en estos tipos de ensayos.

Por todo lo antes mencionado, se propone la creación de una Red Neuronal Artificial para estimar la resistencia a la compresión del concreto en el sector de construcción. Este modelo reunirá una serie de técnicas informáticas para realizar funciones de aprendizaje y autocorrección mediante algoritmos plasmados en un lenguaje de programación. Tomando como entradas datos medibles proporcionados por diseños de mezclas de diferentes resistencias

y teniendo como salida la resistencia a la compresión del concreto. El modelo aplicado en este trabajo de investigación será comparado con los ensayos a la compresión realizados en el laboratorio para determinar su nivel de confiabilidad.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 PREGUNTA GENERAL

¿Cómo se relaciona las Redes Neuronales Artificiales con la resistencia a la compresión del concreto, empleando agregados de la cantera Tres Tomas, Distrito Mesones Muro - Provincia Ferreñafe - Región Lambayeque?

1.3 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 HIPÓTESIS GENERAL

El uso de las Redes Neuronales Artificiales realizará una adecuada estimación de la resistencia a la compresión del concreto.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Aplicación de Redes Neuronales Artificiales en el ensayo de la resistencia a la compresión del concreto, utilizando agregados de la cantera Tres Tomas, Distrito Mesones Muro - Provincia Ferreñafe - Región Lambayeque.

1.4.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

- Determinar la característica del agregado proveniente de la cantera Tres Tomas, los cuales serán usados para las proporciones de mezclas a realizar.
- Desarrollar dosificaciones, según resistencias específicas requeridas que posteriormente serán sometidas al ensayo de compresión.
- Crear un modelo de aprendizaje fiable en su resultado.

- Implementar en un lenguaje de programación una red neuronal artificial.
- Verificar el nivel de confiabilidad del modelo por medio del entrenamiento y aprendizaje de los datos, agilizando así el proceso de control de calidad del concreto.
- Introducir una nueva técnica de modelización que permita conocer la resistencia a la compresión del concreto el mismo día del vaciado, garantizando la semejanza o igualdad del $f'c$ a los 28 días cumpliendo las normas técnicas peruanas.

1.5 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

En la Región Lambayeque aún no existe registro del uso de las Redes Neuronales Artificiales aplicadas en el ensayo de resistencia a la compresión del concreto en la Región Lambayeque.

1.6 ALCANCES Y LIMITACIONES

1.6.1 ALCANCES

- El proyecto comprende el uso de datos de los agregados provenientes de la cantera Tres Tomas de la Región Lambayeque.

1.6.2 LIMITACIONES

- Dado que las probetas son sometidas al ensayo de compresión a los 7, 14 y 28 días de ser elaboradas y teniendo en cuenta que el laboratorio donde se realiza el proyecto (LEM-FICSA) no hay atención los días sábado y domingo, ello ocasionó que las probetas no sean ensayadas los días establecidos.
- El hardware utilizado está limitado a alimentarse con la cantidad de datos que se obtuvieron de los ensayos realizados en el laboratorio.

1.7 PROPUESTA

Se propone realizar una serie de ensayos con probetas normalizadas (6'' x 12'') y distintos diseños de mezclas de concreto con la finalidad de obtener diferentes resistencias a la compresión, estos servirán como base de datos para el entrenamiento de la Red Neuronal Artificial. Para la creación de dicha red se moldeará con diferentes capas y pesos.

En general se propone la creación de una red neuronal artificial que pueda estimar los resultados de la resistencia a la compresión del concreto en menor tiempo posible y con un óptimo nivel de confiabilidad.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES

2.1.1 ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Acuña, L., Espinoza, P., Moromi, I., Torre, A. & García, F. (2017). Concreto de alto rendimiento, predicción de su resistencia a la compresión mediante redes neuronales artificiales. *TECNIA*, 27 (1), 51-59. DOI: <http://dx.doi.org/10.21754/tecnia.v27i1.125>

En este trabajo se elaboró un recurso tecnológico que ayude a pronosticar la resistencia de alto rendimiento del concreto usado en las construcciones de puentes, diques, etc. Con este recurso tecnológico se pronosticó la resistencia a compresión del concreto con correlaciones a las reales obtenidas en laboratorio entre 0.86 y 0.91.

Arcilla, J., Riveros, C. A. & Rivero, E. (2014). Optimización de secciones de vigas y columnas para el cumplimiento de la deriva en edificaciones de concreto reforzado mediante Redes Neuronales Artificiales. *Revista Facultad de Ingeniería de la Universidad Antioquia*, ISSN 0120-6230(70), 34-44.

Esta investigación presentó los resultados del uso de Redes Neuronales Artificiales (RNA) para la estimación de secciones óptimas de vigas y columnas en concreto reforzado en edificaciones aporticadas simétricas de 1 a 6 pisos, teniendo en cuenta los requisitos mínimos

exigidos en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10) relacionados con la deriva y el diseño sísmico.

Gonzales, L. O., Guerrero A. P., & Delvasto S. (2012). Aplicación de la inteligencia Artificial en el diseño de mezclas de concreto. *Cuaderno ACTIVA*, ISSN 2027-8101(4) ,55-65.

En este artículo se presenta una exploración de las diferentes líneas de investigación de la IA aplicada al diseño de mezclas de concreto, así como una revisión organizada de los trabajos realizados. Además, muestra la importancia de las Redes Neuronales Artificiales y de los Algoritmos Evolutivos, que son aplicados en la predicción de propiedades, la optimización, la dosificación de la materia prima, el control de calidad y la validación de modelos.

Lizarazo, J. M. & Gómez, J. G. (2007). Desarrollo de un modelo de redes neuronales artificiales para predecir la resistencia a la compresión y la resistividad eléctrica del concreto. *Revista ingeniería e investigación de la Universidad Nacional de Colombia*, 27 (1) ,11-18.

El estudio ha sido realizado por la necesidad de obtener un método rápido para predecir la resistencia a la compresión del concreto. De la misma manera, la investigación también busca predecir la resistividad eléctrica del concreto mediante el peso unitario, la velocidad de pulso ultrasónico y la resistencia a la compresión.

2.1.2 ANTECEDENTES NACIONALES

Díaz, M. (2017). *Uso de 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.

Trabajo elaborado donde se pronostica la resistencia a la Compresión del concreto mediante un sistema basado en Redes Neuronales Artificiales, aplicando el software MATLAB. Se usó mezclas teniendo en cuenta las resistencias, agregados y cementos más usuales en las construcciones de la localidad.

García, F., Acuña, L., Espinoza, Pedro., Torre, A. & Moromi, I. (2014). El Uso de las Redes Neuronales Artificiales en la Predicción de la Resistencia a Compresión del Concreto. *Información Tecnológica*, 25(4). Recuperado de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642014000400002

El artículo científico se centra en el desarrollo de dos modelos de predicción de la resistencia a la compresión del concreto (Perceptrón multicapa y Red de Elman). Estos modelos cuyos coeficientes de correlación superan el 0.90, reducen considerablemente el tiempo en obtener los resultados de la resistencia a compresión.

Salgado, J. (2017). *Redes neuronales artificiales y simulación de Montecarlo como modelo predictivo que determine las propiedades físicas del concreto de alta resistencia* (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.

En la tesis se desarrolló una metodología para obtener tanto la incertidumbre como los intervalos de confianza de la salida de un modelo específico de red neuronal basándonos en el Método de Simulación de Monte Carlo para posteriormente aplicarlo a la modelización del ensayo de resistencia a compresión del concreto.

2.2 PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

Se realizaron estudios de las diversas propiedades físicas de los agregados, propiedades químicas del cemento y las condiciones que posee el agua a usar en el diseño de mezcla. Para determinar estas propiedades y características se hizo uso de ensayos normalizados según las Norma Técnica Peruana (NTP), las cuales han tomado como base la normativa American Society of Testing Materials (ASTM). Para obtener así un concreto de calidad.

2.2.1 AGREGADO GRUESO

La NTP 339.047:2006 considera al agregado grueso como aquel que es retenido en el tamiz 4.75 mm (N°4), que cumple con los límites establecidos en la NTP 400.037 y proviene de la desagregación natural o artificial de las rocas. En esta investigación se hizo uso del agregado grueso proveniente de la cantera Tres Tomas- Ferreñafe, Región Lambayeque.

2.2.1.1 PROPIEDADES FÍSICAS

2.2.1.1.1 Análisis granulométrico (NTP 400.012:2013)

Para realizar este ensayo se toma una muestra de agregado seco, el cual es separado a través de una serie de tamices que están ubicados desde una abertura de mayor a menor diámetro. Los resultados obtenidos son utilizados para verificar que el agregado a usar cumpla: con la distribución de tamaño de las partículas, con los requisitos que exige las especificaciones técnicas de la obra y además garantizar que respeten con los límites establecidos por la NTP 400.037:2014. Dicha norma se encuentra basada en la ASTM C33, en la cual se establece las especificaciones normalizadas para los agregados en el concreto.

Para realizar el análisis granulométrico del agregado grueso se siguieron estos pasos:

- Tomar una muestra del agregado de acuerdo a la NTP 400.010:2011, esta normativa nos indica la cantidad mínima de la muestra a ser extraída para que se realicen los ensayos de calidad rutinarios, las cuales deberán reflejar la naturaleza y condiciones del material que representan.
- Para la reducción del agregado a un volumen apropiado, se hace uso del Método B (cuarteo) que se encuentra especificado en la NTP 400.043:2015; además se toma en cuenta la cantidad mínima del agregado grueso en estado seco a utilizar tal como se indica en la Tabla 1.

Tabla 1

Cantidad mínima de la muestra del agregado grueso

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL (pulg.)	CANTIDAD DE LA MUESTRA MÍNIMO Kg (lb)
3/8"	1 (2)
1/2"	2(4)
3/4"	5(11)
1"	10(22)
1 1/2"	15(33)
2"	20(44)
2 1/2"	35(77)
3"	60(130)
3 1/2"	100 (220)
4"	150(330)
5"	300(660)

Fuente: NTP 400.012:2013

Para secar la muestra se hace uso de un horno el cual estará a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

- Se seleccionan y encajan los tamices en orden de abertura decreciente y se coloca la muestra sobre el tamiz superior.

- Se agitan los tamices manualmente siguiendo el procedimiento descrito en la normativa, en esta se nos recomienda golpear el filo contra el talón de la otra mano con un movimiento hacia arriba a una velocidad de cerca 150 veces por minuto, girando el tamiz un sexto de una revolución por cada 25 golpes.
- La masa total del material tamizado es verificada con la masa retenida sobre cada tamiz. En el caso que la cantidad difiera en más de 0.3% sobre la masa seca original de la muestra, el resultado no deberá utilizarse para propósitos de aceptación.

Tabla 2

Requisitos granulométricos del agregado grueso, porcentajes que pasa por tamices normalizados

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL	4"	3 ½"	3"	2 ½"	2"	1 ½"	1"	¾"	½"	3/8"	Nº4	Nº8	Nº16	Nº50
3 ½" a 1 ½"	100	90 - 100		25-60		0-15		0-5						
2 ½" a 1 ½"			100	90-100	35-70	0-15		0-5						
2" a 1"				100	90-100	35-70	0-15		0-5					
2" a Nº4				100	95-100		35-70		10-30		0-5			
½" a ¾"					100	90-100	20-55	0-5		0-5				
1 ½" a Nº4					100	95-100		35-70		10-30	0-5			
1" a ½"						100	90-100	20-55	0-10	0-5				
1" a 3/8"						100	90-100	40-85	10-40	0-15	0-5			
1" a Nº4						100	95-100	----	25-60	----	0-10	0-5		
¾" a 3/8"							100	90-100	20-55	0-15	0-5			
¾" a Nº4							100	90-100		20-55	0-10	0-5		
½" a Nº4								100	90-100	40-70	0-15	0-5		
3/8" a Nº8									100	85-100	10-30	0-10	0-5	
½" a 3/8"									100	90-100	20-55	5-30	0-10	0-5
Nº 4 a Nº16										100	85-100	10-40	0-10	0-5

Fuente: NTP 400.037:2014

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Tabla 3

Análisis granulométrico del agregado grueso

TAMICES ASTM	ABERTURA	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
(Pulg.)	(mm.)	(gr.)			
2"	50.00	-	-	-	
1 1/2"	38.10	-	-	-	
1"	25.00	-	-	-	100.00
3/4"	19.00	1,401.50	28.03	28.03	71.97
1/2"	12.50	1,458.50	29.17	57.20	42.80
3/8"	9.50	966.00	19.32	76.52	23.48
N° 4	4.75	1,090.00	21.80	98.32	1.68
N° 8	2.36	82.00	1.64	99.96	0.04
N° 16	1.18	1.50	0.03	99.99	0.01
N° 30	0.6		-	99.99	0.01
N° 50	0.30		-	99.99	0.01
N° 100	0.15		-	99.99	0.01
N° 200	0.075		-	99.99	0.01
Platillo		0.50	0.01	100.00	-
Sumatoria		5,000.00	100.00		

Fuente: Elaboración propia

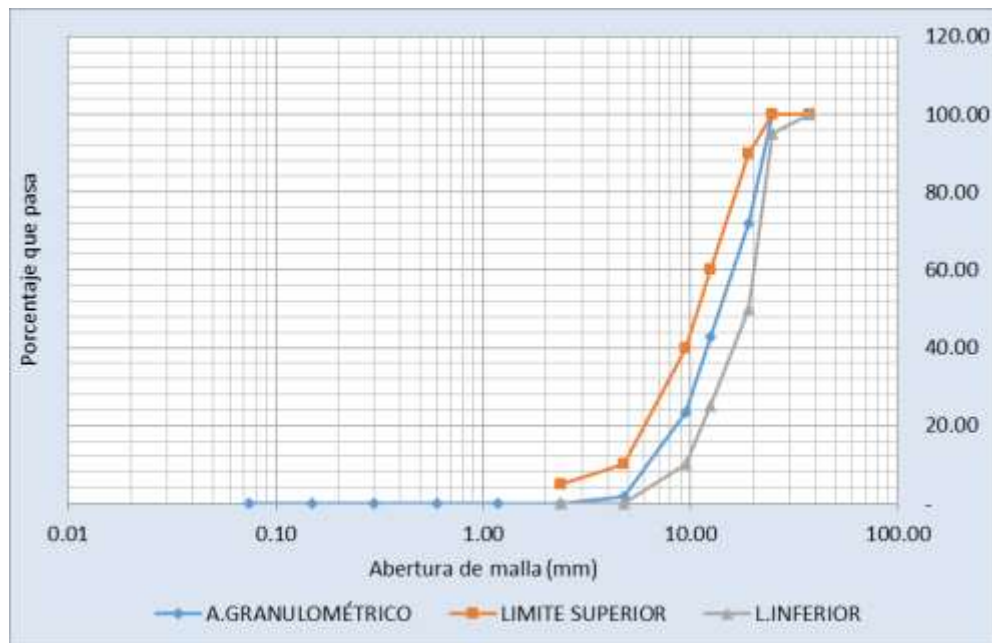


Ilustración 1 Curva granulométrica del agregado grueso. Elaboración propia

Los resultados del análisis granulométrico del agregado grueso se encuentran detallados en la Tabla 3 y expresados de manera gráfica en la Ilustración 1, en este se indica que la granulometría del agregado que se ha usado cumplen con los requisitos granulométricos especificados en la Tabla 2, los cuales se encuentran basados en la NTP 400.037:2014.

2.2.1.1.2 Módulo de finura (NTP 400.011:2008)

Es el factor que se obtiene por la suma de los porcentajes acumulados retenidos de una muestra de agregado en cada uno de los tamices de la serie especificada (Nº 100; Nº 50; Nº 30; Nº 16; Nº 8; Nº 4; 3/8”; ¾”; 1 ½”) y dividido por 100, es un número adimensional. Huertas, C. (2013) afirma: “Cuando el módulo de finura es mayor, más grueso es el agregado” (pág.2).

$$\text{Modulo de fineza} = \frac{\text{Sumatoria de los \% Acumulados Retenidos en mallas válidas}}{100}$$

$$\text{Modulo de fineza} = \frac{28.03 + 76.52 + 98.32 + 99.96 + 99.99 + 99.99 + 99.99 + 99.99}{100}$$

$$\text{Modulo de fineza} = 7.03$$

2.2.1.1.3 Tamaño máximo (NTP 400.037:2014)

Corresponde al menor tamiz por el que pasa toda la muestra de agregado grueso. En nuestro caso se obtuvo un Tamaño Máximo de 1”.

2.2.1.1.4 Tamaño máximo nominal (NTP 400.037:2014)

Corresponde al menor tamiz de la serie utilizada que produce el primer retenido. El agregado grueso de la cantera Tres Tomas posee un tamaño máximo nominal de ¾”.

2.2.1.1.5 *Peso específico (NTP 400.021:2002)*

Es la relación de la masa en el aire de un volumen unitario del agregado a la masa del mismo volumen en agua, a una temperatura estable. Posee valor adimensional.

Para la obtención de este parámetro se realizó el siguiente procedimiento:

- Extraer la muestra según NTP 400.010:2011.
- La muestra extraída se mezcla y se reduce al peso mínimo expresado en la Tabla 4. Se descarta el material que pase la malla N°4 y se procedió a lavar la muestra para remover el polvo u otras impurezas superficiales.

Si el agregado grueso contiene cantidades importantes de material más fino que el tamiz N° 4 usar el tamiz N° 8 en vez del tamiz N° 4.

Tabla 4

Peso mínimo de la muestra de ensayo

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL MM (PULG)	PESO MÍNIMO DE LA MUESTRA DE ENSAYO KG (LB)
12,5 (1/2) o menos	2 (4,4)
19,0 (3/4)	3 (6,6)
25,0 (1)	4 (8,8)
37,5 (1 ½)	5 (11)
50 (2)	8 (18)
63 (2 ½)	12 (26)
75 (3)	18 (40)
90 (3 ½)	25 (55)
100 (4)	40 (88)
112(4 ½)	50 (110)
125 (5)	75 (165)
150 (6)	125 (276)

Fuente: NTP 400.021:2002

- Secar la muestra a peso constante a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, luego ventilar en un lugar fresco a temperatura ambiente de 1 a 3 horas hasta que el agregado se enfríe a una temperatura cómoda al tacto.

- Inmediatamente se sumerge el agregado en agua a una temperatura ambiente por un periodo de 24h \pm 4 h.
- Extraer la muestra estudiada del agua y se hace rodar sobre un paño grande y absorbente, hasta hacer desaparecer toda película de agua visible.
- Después de pesar la muestra saturada con superficie seca, esta es colocada en la cesta de alambre y sumergida en un tanque de agua. De ese modo se determinar su peso en agua a una temperatura entre 23 °C \pm 1,7 °C.
- Luego se procede a secar la muestra en un horno a temperatura constante y se dejar enfriar hasta temperatura ambiente.

Los datos obtenidos en el ensayo fueron remplazados en la siguiente formula, de la cual se obtuvo como resultado:

$$Pem = \frac{A}{B-C} = \frac{3000}{3044-1905} = 2.63$$

Donde:

- A = Peso de la muestra seca en el aire, gramos;
- B = Peso de la muestra saturada superficialmente seca en el aire, gramos;
- C = Peso en el agua de la muestra saturada.

Los cálculos se encuentran detallados en el Anexo B-2, Tabla 40.

2.2.1.1.6 *Peso unitario suelto (NTP 400.017:2011)*

Es la relación entre el peso por unidad de volumen, cuando el material no ha sido compactado. El procedimiento que se efectúa es el siguiente:

- Extraer y reducir la muestra a usar tomando en cuenta las NTP 400.010 y 400.043.

- Se elige la capacidad del recipiente, teniendo en cuenta el tamaño máximo nominal del agregado y las tablas de la NTP 400.017:2011 expresadas en la Tabla 5 y Tabla 6. Además, se toma en consideración que la cantidad de muestra a usar será de 125% a 200% de la cantidad requerida para llenar el molde. Cabe resaltar que la muestra a usar en este procedimiento debe ser secada en una estufa a $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Tabla 5

Capacidad de la medida

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO		CAPACIDAD DE LA MEDIDA	
mm	Pulgadas	L (m ³)	P ³
12.5	½	2.8 (0.0028)	1/10
25.0	1	9.3 (0.0093)	1/3
37.5	1 ½	14.0 (0.014)	½
75.0	3	28.0 (0.028)	1
112.0	4 ½	70.0 (0.070)	2 ½
150.0	6	100.0 (0.100)	3 ½

Fuente: NTP 400.017:2011

Tabla 6

Requisitos para los recipientes de medida

CAPACIDAD DE MEDIDA	FONDO (PULG)	SOBRE 1 ½" Ó 38 MM DE PARED (PULG)	ESPESOR ADICIONAL (PULG)
<i>Menos de 0.4 p³</i>	<i>0.20</i>	<i>0.10</i>	<i>0.10</i>
<i>De 0.4 p³ a 1.5 p³</i>	<i>0.20</i>	<i>0.20</i>	<i>0.12</i>
<i>Sobre 1.5 a 2.8 p³</i>	<i>0.4</i>	<i>0.25</i>	<i>0.15</i>
<i>Sobre 2.8 a 4.0 p³</i>	<i>0.5</i>	<i>0.30</i>	<i>0.20</i>
<i>Menos de 11L</i>	<i>0.20</i>	<i>0.10</i>	<i>0.10</i>
<i>11 a 42 L</i>	<i>0.20</i>	<i>0.20</i>	<i>0.12</i>
<i>Sobre 42 a 80 L</i>	<i>0.39</i>	<i>0.25</i>	<i>0.15</i>
<i>Sobre 80 L a 133 L</i>	<i>0.51</i>	<i>0.30</i>	<i>0.20</i>

Fuente: NTP 400.017:2011

- Llenar el recipiente con una pala o cucharón hasta rebosar, descargando el agregado desde una altura no mayor de 50 mm por encima de la parte superior del recipiente. Se nivela la superficie con los dedos o una espátula, eliminando el material sobrante.
- Obtener los pesos del recipiente en estado vacío y con la muestra. Se registra el peso del recipiente más su contenido con una aproximación de 0.05 Kg.

Se realizan los cálculos pertinentes utilizando la siguiente formula:

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

Donde:

G = Masa del recipiente con la muestra, Kg
 T = Masa del recipiente, Kg
 V = Volumen del recipiente, m³

Utilizando el agregado proveniente de la cantera Tres Tomas se obtuvo como resultado un peso unitario suelto de 1.54 gr/cm³. Los cálculos que se realizaron se encuentran en detallados en el Anexo B-3, Tabla 42.

En este ensayo la normativa antes mencionada nos pide una precisión de los resultados para dos ensayos realizados por un mismo operador no deben diferir en más de 40 kg/m³ (2,5 lb/p³).

2.2.1.1.7 Peso unitario compactado (NTP 400.017:2011)

Es la relación del peso por unidad de volumen, cuando el material ha sido compactado. El procedimiento es muy similar al del peso unitario suelto expuesto anteriormente, pero con la diferencia que el llenado del recipiente es en tres capas proporcionales a su medida y se apisona cada capa con la barra compactadora dando 25

golpes distribuidos uniformemente sobre la superficie. En la última capa el recipiente será llenado hasta rebozar, el agregado sobrante se elimina utilizando a la barra compactadora como regla. Se tuvo en consideración que, al compactar la primera capa, la barra compactadora no debe golpear el fondo con fuerza.

Para el cálculo se utilizó la misma fórmula expresada en el punto 2.2.1.1.6, obteniendo como resultado del peso unitario compactado del agregado grueso 1.67 gr/cm³, los cálculos se encuentran detallados en el Anexo B-4, Tabla 44.

2.2.1.1.8 Porcentaje de absorción (NTP 400.021:2002)

El porcentaje de absorción del agregado expresa la cantidad de agua absorbida después que este ha sido saturado durante 24 horas. Para este ensayo se realizó el mismo procedimiento para hallar el peso específico detallado en el punto 2.2.1.1.5. La siguiente formula fue utilizada para el cálculo del porcentaje de absorción.

$$P_{Ab}(\%) = \frac{B - A}{A} * 100$$

Obteniéndose como resultado 1.47%. Los cálculos que se realizaron para obtener el porcentaje de absorción del agregado grueso se encuentran detallados en el Anexo B-5, Tabla 46.

2.2.1.1.9 Contenido de humedad (NTP 339.185:2013)

Este ensayo sirve para determinar el porcentaje total de humedad evaporable de la muestra del agregado, considerando como humedad evaporable a la humedad superficial y la contenida en los poros del agregado.

El resultado obtenido se utiliza para la corrección de las proporciones de las tandas para la producción de concreto. Debido a que, si el agregado es capaz de absorber agua, disminuiría la relación agua cemento efectiva y el concreto perdería trabajabilidad. En

cambio, si el agregado si tiene agua presente en su superficie y poros, esta aumentaría la relación agua cemento, ocasionando una disminución de la resistencia.

El procedimiento a realizar es el siguiente:

- Extraer y reducir la muestra a usar tomando en cuenta las NTP 400.010 y 400.043.
- Se toma una muestra representativa del agregado a usar, evitando perder la humedad natural de la muestra antes de determinar su masa. Este ejemplar no será menor a la cantidad indicada en la Tabla 7.

Tabla 7

Masa mínima de la muestra a usar del agregado grueso

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL (pulg)	MASA MÍNIMA DE LA MUESTRA DE AGREGADO DE PESO NORMAL Kg
N°4	0.5
3/8"	1.5
1/2"	2.0
3/4"	3.0
1"	4.0
1 1/2"	6.0
2"	8.0
2 1/2"	10.0
3"	13.0
3 1/2"	16.0
4"	25.0
6"	50.0

Fuente: NTP 339.185:2013

- Se introduce la muestra en un horno a temperatura controlada alrededor de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, de ese modo se determina la masa de la muestra seca.

Se utilizó la siguiente fórmula para poder obtener el contenido de humedad del agregado grueso, cuyo resultado es 0.78%, los resultados del cálculo se encuentran detallados en el Anexo B-6, Tabla 48.

$$P = \frac{W - D}{D} * 100$$

Donde:

W-D = Peso de agua contenida, gramos

D = Peso de la muestra seca, gramos

La normativa antes mencionada nos pide una precisión en los resultados de dos ensayos realizados por el mismo operador, no debe diferir en más de 0.78%.

2.2.2 AGREGADO FINO

La NTP 339.047:2006 considera al agregado fino a aquel que proviene de la desintegración natural o artificial de rocas y piedras, pasa el tamiz normalizado 3/8", además cumple con los límites establecidos en la NTP 400.037.

Para esta investigación se hizo uso del agregado fino proveniente de la cantera Tres Tomas-Provincia de Ferreñafe, Región Lambayeque.

2.2.2.1 PROPIEDADES FÍSICAS

2.2.2.1.1 Análisis granulométrico (NTP 400.037:2014)

El ensayo del análisis granulométrico consiste en la distribución de las partículas según su tamaño, esto se realiza por medio de una serie de tamices estandarizados (N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100) que van progresivamente de una abertura de mayor a menor diámetro.

La finalidad de este ensayo es determinar la gradación del agregado fino y que cumpla con los límites establecidos en la presente normativa, la cual está basada en la ASTM C33. Estos límites nos garantizan que el agregado sea apto para la elaboración de concretos de calidad.

Tabla 8

Límites de gradación en granulometría del agregado fino

TAMIZ	PORCENTAJE QUE PASA
3/8"	100
N°4	95 a 100
N°8	80 a 100
N°16	50 a 85
N°30	25 a 60
N°50	05 a 30
N°100	0 a 10

Fuente: NTP 400.037:2014

La NTP 400.012:2013 nos indica que la cantidad de muestra seca mínima para este ensayo es de 300 gramos.

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Tabla 9

Análisis granulométrico del agregado fino

TAMICES ASTM (pulg)	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
2"	50.00				
1 1/2"	38.10				
1"	25.00	-	-	-	100.00
3/4"	19.00	-	-	-	100.00
1/2"	12.50	-	-	-	100.00
3/8"	9.50	-	-	-	100.00
N° 4	4.75	12.56	1.26	1.26	98.74
N° 8	2.36	106.29	10.63	11.89	88.11
N° 16	1.18	182.43	18.24	30.13	69.87
N° 30	0.6	344.87	34.49	64.62	35.38
N° 50	0.30	193.46	19.35	83.96	16.04
N° 100	0.15	116.13	11.61	95.57	4.43
N° 200	0.075	34.65	3.47	99.04	0.96
Platillo		9.60	0.96	100.00	-
Sumatoria		1,000.00	100.00		

Fuente: Elaboración propia

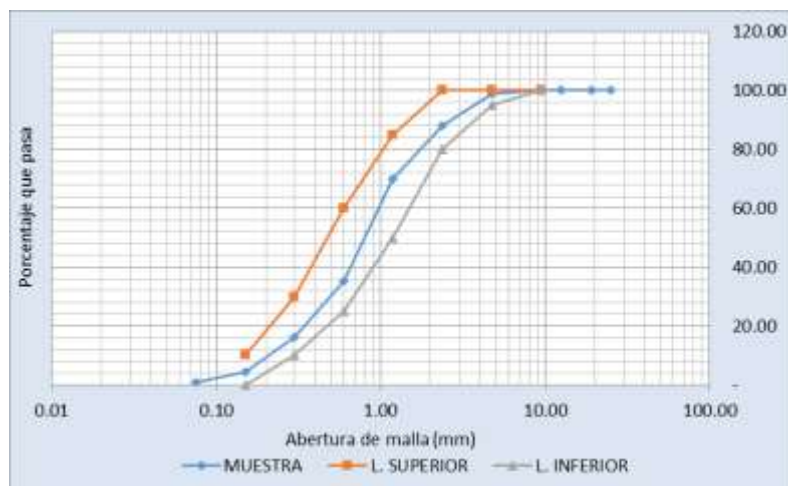


Ilustración 2 Curva granulométrica del agregado fino .Elaboración propia

Los resultados del análisis granulométrico del agregado fino se encuentran detallados en la Tabla 9 y expresados de manera gráfica en la Ilustración 2, indica que la granulometría del agregado que se ha usado está dentro de los límites de degradación máximos y mínimos especificados en la Tabla 8, basado en la NTP 400.037:2014.

2.2.2.1.2 Módulo de finura (NTP 400.012:2013)

Es el factor que se obtiene de la suma de los porcentajes acumulados retenidos de una muestra de agregado, de cada uno de los tamices de la serie especificada (N° 100; N° 50; N° 30; N° 16; N° 8; N° 4) y dividido por 100.

La NTP 400.037, nos indica que su módulo de fineza no será menor de 2.3 ni mayor de 3.1. Debido a que si poseen un módulo de finura menor a 2.3 requerirían una mayor cantidad de pasta de cemento, lo que ocasionaría cambios volumétricos y elevación de costos, en cambio si el módulo de fineza es mayor a 3.1 producirían mezclas ásperas y segregables.

$$\text{Modulo de fineza} = \frac{1.26 + 11.89 + 30.13 + 64.62 + 83.96 + 95.57}{100}$$

$$\text{Modulo de fineza} = 2.87$$

2.2.2.1.3 *Peso específico (NTP 400.022:2013)*

Peso específico o también llamado densidad relativa, es la relación de la masa en el aire de un volumen unitario de un material a la masa del mismo volumen en agua, a una temperatura indicada. Esta es la característica generalmente usada para el cálculo del volumen ocupado por el agregado en la mezcla, así como para el cálculo de vacíos entre partículas. El procedimiento que se realizó para determinar el peso específico fue el siguiente:

- Luego de haber seleccionado una muestra del agregado a ser ensayado, se procedió a secarla a través de una estufa a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y se deja saturar con agua durante un plazo de $24\text{h} \pm 4\text{h}$.
- Decantar el exceso de agua con cuidado para evitar la pérdida de finos y se procede a extender la muestra sobre una superficie plana y expuesta a una corriente de aire suave. Se deja secar la muestra hasta que este alcance una condición de saturada superficialmente seca.

Para constatar que la muestra se encuentre en ese estado se realizó la prueba de humedad superficial, que consiste en colocar una proporción del agregado fino suelto parcialmente seco en un molde cónico llenado hasta el tope y apisonarlo ligeramente con la barra compactadora con 25 golpes, esta barra caerá por la atracción gravitatoria, luego se procede a levantar el molde verticalmente. Si la humedad de la superficie está aún presente, el agregado fino conservará la forma del molde, en caso que haya llegado a una condición superficialmente seca el agregado fino moldeado tendrá una ligera caída.

- Para determinar el peso específico del agregado fino se hace uso del procedimiento gravimétrico (Picnómetro), que consiste en llenar

parcialmente el picnómetro con agua e introducir en 500 g \pm 10g de agregado fino saturado superficialmente seco y adicionar agua hasta aproximadamente el 90% de su capacidad. Se eliminarán las burbujas de agua visibles invirtiendo o agitando manualmente el picnómetro durante un plazo de 15 a 20 minutos.

Después de eliminar todas las burbujas de aire, se adicionará agua hasta llegar a la marca de calibración. Se determinará la masa total del picnómetro, la muestra y el agua.

Se retira el agregado fino del picnómetro y es secada en el horno a una temperatura de 110 °C \pm 5 °C y posteriormente se determinará su masa.

Se utilizó la siguiente fórmula para poder obtener el peso específico del agregado fino, el cual dio como resultado 2.47.

$$D(\text{densidad relativa o gravedad específica}) = \frac{A}{B + S - C}$$

Los cálculos se encuentran detallados en el Anexo B-2, Tabla 39.

2.2.2.1.4 Peso unitario suelto (NTP 400.017:2011)

Para obtener los resultados de este ensayo se realiza el mismo procedimiento detallado en el punto 2.2.1.1.6. e incluso se utiliza la misma fórmula para determinar el peso unitario suelto en el agregado fino, el cual nos dio como resultado 1.57 gr/cm³.

Los resultados están detallados en el Anexo B-3, Tabla 41.

2.2.2.1.5 Peso unitario compactado (NTP 400.017:2011)

Para obtener los resultados de este ensayo se realiza el mismo procedimiento detallado en el punto 2.2.1.1.7. El peso unitario del agregado fino de la cantera Tres Tomas es de 1.72 gr/cm³, los resultados están detallados en el Anexo B-4, Tabla 43.

2.2.2.1.6 Porcentaje de absorción (NTP 400.021:2002)

La absorción es el aumento de la masa del agregado debido a la penetración del agua en los poros de las partículas, se expresa como porcentaje del peso seco. El procedimiento para obtener el porcentaje de absorción es el mismo que el del peso específico estipulado en el apartado 2.2.2.1.3, pero el cálculo a realizar es el siguiente:

$$\%ABSORCIÓN = \frac{S-A}{A} * 100 = \frac{500-484.5}{484.5} * 100 = 3.20\%$$

Los cálculos están detallados en el Anexo B-5, Tabla 45.

2.2.2.1.7 Contenido de humedad (NTP 339.185:2013)

En este ensayo se determina el porcentaje total de humedad evaporable por secado de una muestra del agregado fino. El procedimiento que se le realiza es el mismo que se encuentra detallado en el ítem 2.2.1.1.9, el cual nos da como resultado 2.04%. El cálculo realizado se encuentra detallado en el Anexo B-6, Tabla 47.

2.2.2.1.8 Contenido de material que pasa la malla n°200 (NTP 400.018:2002)

La presencia excesiva de tamaños muy pequeños en la arena puede afectar el comportamiento deseado en una mezcla de concreto, perjudicando el fraguado y la adquisición de resistencia mecánica de este.

El límite de finos en el agregado es de 5%-7% según ASTM C33, además Martínez Z., L. & Torres F., M. (2013) afirman que el límite de finos tolerable puede ser hasta de 7% siempre que se garantice una presencia de arcilla limitada (Pág.1). También nos muestran las consecuencias de la presencia de finos en el agregado producirían (Martínez Z., L. & Torres F., M, 2013, pág.23):

- En el concreto en estado fresco, se favorecería a la compacidad y la trabajabilidad al reducir los espacios vacíos, pero este aumento produciría segregación y aumento en la relación de a/c.
- En el concreto en estado endurecido, las partículas indeseables formarán una capa delgada sobre la superficie de los áridos que reduce la adherencia entre el mortero y el agregado, por ello disminuye la resistencia a la compresión dado que se incrementó la relación a/c y por los espacios vacíos que se crearon.

Por todo lo expuesto anteriormente en este ensayo se evalúa el recubrimiento superficial que puede tener los agregados y su potencial comportamiento perjudicial en el concreto. Para ello se somete a un proceso de sedimentación y tamizado por vía húmeda. El procedimiento que se lleva a cabo fue el siguiente:

- Luego de extraer y preparar la muestra a ensayar. Se elige el procedimiento a utilizar en este caso lavando el agregado con agua el cual es el más utilizado, a menos que se indique en el proyecto algún método diferente como el uso de un agente dispersante.
- Luego de secar la muestra a una temperatura constante de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, se reduce a la cantidad mínima necesaria tal como está detallada en la Tabla 10.

Tabla 10
Cantidad mínima de la muestra seca

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL	CANTIDAD MÍNIMA gr
N°4 o más pequeño	300
3/8"	1000
3/4"	2500
1 1/2"	5000

Fuente: NTP 400.018:2002

- Se procede a colocar la muestra del ensayo en un recipiente, adicionándole agua suficiente para cubrirla, para que luego sea agitada vigorosamente con la finalidad de separar de las partículas gruesas las partículas más finas con el tamiz N°200.
- Verter el agua del lavado conteniendo los sólidos suspendidos y disueltos sobre los tamices con sumo cuidado, para evitar la decantación de las partículas más gruesas.

Se repite el mismo proceso de lavado y decantación de agua con sólidos suspendidos cuantas veces fuera necesario hasta que el agua del lavado sea clara.

- Secar toda la muestra retenida en el tamiz N°200 en un horno a temperatura constante, para que luego se determine su masa con aproximación de 0.1% de la masa original de la muestra.

Se hizo uso de la siguiente expresión para determinar la cantidad de finos en el agregado fino:

$$A = \frac{P_1 - P_2}{P_1} * 100$$

Dándonos como resultado 6.60% lo cual nos indica que el agregado es apto para su uso. Los cálculos están detallados en el Anexo B-7, Tabla N°49.

Para este ensayo se nos acepta una variación de 0.28 % para dos ensayos realizados por un solo operador.

2.2.3 CEMENTO

El cemento portland es un conglomerante que al mezclarse con agregados y agua forman una masa pétreo resistente y duradera denominada concreto. El nombre obedece a la similitud en aspecto del cemento endurecido con una piedra que abunda en Pórtland, Inglaterra. Fue patentado el 21 de octubre de 1824 por Joseph Aspdin, años más tarde Isaac Johnson obtuvo por primera vez el clinker (1844), siendo esta la base del cemento artificial moderno. El cemento tiene la propiedad que en presencia de agua fragua y endurece, debido a que ocurre un proceso de reacción química que se conoce como hidratación.

Se decidió usar el cemento Portland Tipo Fortimax Antisalitre, fabricado por Cementos Pacasmayo S.A.A basándonos en un Estudio de Mecánica de Suelos con fines de cimentación de estructuras en el departamento de Lambayeque. Este estudio nos indica que los problemas de durabilidad más comunes en estructuras que están en contacto con el suelo o con el agua, son causadas por el deterioro y destrucción de los materiales por agresividad del medio. Los resultados del análisis químico del suelo y agua del nivel freático del estudio de mecánica de suelos referenciado, dieron como resultado un grado de agresividad leve a moderado de ataque de sulfatos (106.8 ppm), por ese motivo se llegó a recomendar el uso de Cemento Portland Tipo Ms (Estudio geotécnico EG-001-2012, Ing. Martínez S., 2012). Tomando en cuenta el estudio de mecánica de suelos anteriormente mencionado hemos limitado para la presente investigación el uso del cemento Portland Tipo Ms ya que es el más utilizado en la región por la presencia de salitre en el suelo.

Este tipo de cemento se obtiene mediante la pulverización conjunta de clinker, yeso, filler calizo, puzolana y/o escoria. El clinker es un mineral artificial y está compuesto esencialmente de silicatos de calcio producidos a partir de materiales calcáreos y correctores de sílice, alúmina y hierro en un proceso efectuado a temperaturas cercanas a los 1450°C.

Para su elaboración se siguen las indicaciones de la Norma Técnica Peruana 334.082 y de la ASTM C 1157, CEMENTOS PORTLAND. ESPECIFICACIÓN DE LA PERFORMANCE. Es un cemento diseñado para estructuras que requieran moderada resistencia a los sulfatos y moderado calor de hidratación.

2.2.3.1 PROPIEDADES

2.2.3.1.1 PESO ESPECÍFICO

Se basa en la NTP 334.005:2011 y ASTM C 188, en donde se define al peso específico como la masa de una unidad de volumen de los sólidos. Los valores del peso específico fluctúan entre 3 gr /cm³ y 3.2 gr /cm³.

En nuestro caso hemos usado como peso específico para el cemento Tipo MS el valor de 3.15 gr/cm³, el cual lo hemos tomado como referencia de la Tesis Fuentes, Q. & Peralta, S. (2018). *Evaluación de las propiedades del concreto con cemento Pacasmayo, Inka y Mochica en edificaciones convencionales*. Es importante mencionar que esta propiedad está relacionada con el diseño de mezcla del concreto.

2.2.3.1.2 TIEMPO DE FRAGUADO

Este apartado se basa en la NTP 334.006, la cual establece el procedimiento para determinar el tiempo inicial y final de fraguado del cemento hidráulico mediante la aguja de Vicat. Este método de ensayo nos permite asegurar que se cumpla con la especificación límite para el tiempo de fraguado de Vicat. El fraguado inicial se considera al tiempo transcurrido desde el contacto inicial el cemento con la aguja y el momento en que la penetración alcanza 25 mm. El tiempo de fraguado final es el tiempo transcurrido desde el contacto inicial de cemento y aguja y el momento en que la aguja de Vicat no deja una marca circular completa en la superficie de la pasta.

Tabla 11

Fraguado del concreto elaborado con cemento Pacasmayo Antisalitire MS

TIEMPO DE FRAGUADO VICAT	REQUISITO NTP 334.082/ ASTM C 1157
FRAGUADO INICIAL	45 minutos mínimo
FRAGUADO FINAL	420 minutos máximos

Fuente: Ficha técnica cemento ANTISALITRE MS

2.2.3.1.3 CALOR DE HIDRATACIÓN

Es el calor que se genera por la reacción entre el cemento y el agua, esta depende de la composición química del cemento.

Tabla 12

Calor de hidratación del Pacasmayo Antisalitire MS

CALOR DE HIDRATACIÓN DE CEMENTO MS ANTISALITRE	REQUISITO NTP 334.082/ ASTM C 1157
CALOR DE HIDRATACIÓN 7 DÍAS	Máximo 70 Kcal/g

Fuente: Ficha técnica cemento antisalitire ms

2.2.3.1.4 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (NTP 339.034:2008)

Este método consiste en aplicar una carga de compresión axial a los moldes cilíndricos a una velocidad normalizada mientras ocurre la falla. La resistencia de la probeta es calculada por la división de la carga máxima alcanzada durante el ensayo, entre el área de la sección recta de la probeta.

Cabe recordar que los valores obtenidos dependen del tamaño y forma de la probeta, tanda, proceso de mezclado, moldeo, elaboración, temperatura y condiciones de humedad del curado.

2.2.3.2 PROPIEDADES QUÍMICAS DEL CLINKER

2.2.3.2.1 COMPOSICION QUÍMICA

Las materias primas que componen principalmente el Clinker, son aportadas fundamentalmente por 4 óxidos: SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 y CaO y otros componentes (MgO , SO_3 , K_2O , Na_2O). Los óxidos antes mencionados son los responsables del fraguado y resistencia del cemento hidratado. El óxido de calcio (CaO) tiene carácter básico y los otros tres se comportan como anhídridos, es decir carácter ácido.

Tabla 13

Componentes químicos del cemento Portland

COMPONENTE	PORCENTAJE (%)
CaO	61-67
SiO_2	20-27
Al_2O_3	4-7
Fe_2O_3	0.5-4
MgO	0.1-5
SO_3	1-3
K_2O y Na_2O	0.25-1.5

Fuente: Tecnología del concreto, Ing. Chaparro Salas

2.2.3.2.2 COMPUESTOS DEL CLINKER

La mezcla de calizas, arcillas y otros componentes en proporciones convenientes, se llevarán a un proceso de cocción en un rango de 1000 – 1450 °C, de este modo se forma el Clinker.

Tabla 14

Compuestos químicos del Cemento Portland

NOMBRE	FORMULA QUÍMICA	NOMENCLATURA EN EL CLINKER (COMÚN)	INFLUENCIA
Silicato Tricálcico	$3\text{CaO}.\text{SiO}_2$	C_3S	Es el más importante del Clinker (50%-70%), determina la rapidez del fraguado, la resistencia mecánica. Se le atribuye las resistencias iniciales.
Silicato Bicálcico	$2\text{CaO}.\text{SiO}_2$	C_2S	Es el segundo compuesto según su importancia en el Clinker (15%-30%), determina las características del comportamiento de resistencias a la compresión. Fragua lentamente.
Aluminato Tricálcico	$3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A	Su contenido varía entre el 5%-10%. Presenta buena trabajabilidad y plasticidad, se hidrata y fragua con rapidez, pero contribuye muy poco a la resistencia.
Ferro- aluminato tetracálcico	$4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$ Fe_2O_3	C_4AF	Constituye del 5%-15% del Clinker, se hidrata con rapidez pero contribuye muy poco a la resistencia.

Fuente: Guía de cemento Pacasmayo y aplicaciones, Dra. Ing. Rosaura Vásquez A.

2.2.4 AGUA PARA LA ELABORACIÓN DEL CONCRETO (NTP 339.088:2006)

El agua es uno de los componentes fundamentales en la elaboración del concreto ya que juega un papel importante durante su elaboración y curado. Si se realiza una adecuada proporción agua/cemento podremos obtener un concreto trabajable en estado fresco y resistente en estado endurecido. Por ello no solo es importante la cantidad de agua a utilizar en una mezcla, sino que esta posea una calidad adecuada para su uso, la cual la NTP 339.088

indica que el agua a ser utilizada debe ser apta para consumo humano. Además, indica que las fuentes de agua no potables podrían ser usadas siempre y cuando se respeten los límites establecidos en los anexos de dichas normativa; caso contrario el uso de esas fuentes corre bajo riesgo del comprador.

2.2.4.1 FUNCIONES:

- Reaccionar con el cemento para hidratarlo
- Contribuir a la trabajabilidad

2.2.4.2 REQUISITOS DE CALIDAD DE AGUA APTA PARA CONSUMO HUMANO:

El agua apta para consumo humano es aquella que cumple los requisitos de calidad establecidos en el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N°031-2010-SA, además recalca la importancia de realizar los análisis de agua para comprobar la calidad de esta en laboratorios con profesionales habilitados de ciencias e ingeniería.

Tabla 15

Límites máximos permisibles de parámetros de calidad

PARÁMETROS	UNIDAD DE MEDIDA	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
TURBIEDAD	UNT	5
PH	VALOR DE PH	6.5 a 8.5
CONDUCTIVIDAD	μ mho/cm	1500
SOLIDOS TOTALES DISUELTOS	mgL^{-1}	1000
CLORUROS	$\text{mgCl}^{-1}\text{L}^{-1}$	250
SULFATOS	$\text{MgSO}_4\text{L}^{-1}$	250
DUREZA TOTAL	$\text{MgCaCO}_3\text{L}^{-1}$	500
OLOR	-----	Aceptable
SABOR	-----	Aceptable
COLOR	UCV escala Pt/Co	15

Fuente: Reglamento de la calidad del agua para consumo humano DS N°031-2010-SA

*UCV= Unidad de color verdadero

*UNT= Unidad nefelometría de turbiedad



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA E INDUSTRIAS ALIMENTARIAS
UNIDAD DE SERVICIOS TÉCNICOS



REPORTE DE ANÁLISIS N°59-UST-FIQIA-2019

Lambayeque, 30 de Septiembre de 2019

SOLICITANTE : SANDOVAL GIL ANGIE
ASUNTO : ANALISIS FÍSICOQUÍMICO
MUESTRA : AGUA POTABLE
PROCEDENCIA : LABORATORIO DE FICSA - UNPRG
TIPO DE USO : CONSTRUCCIÓN
FECHA DE EMISIÓN : 30/09/2019

RESULTADOS DEL ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO

DETERMINACIÓN	MEDIDA	MEDIDA	RESULTADOS
pH	NTP 339 - 073	UNIDADES	8.50
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	-	µS/cm	470.00
ALCALINIDAD	ASTM - D1067	ppm	230.00
CLORUROS	NTP 339	ppm	34.03
MATERIA ORGÁNICA	NTP 339 - 072	ppm	1.20
SULFATOS	NTP 339 - 074	ppm	144.00
SALES	-	ppt	0.10
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	NTP 339 - 071	ppm	0.20

CONCLUSIÓN:

La muestra de agua potable analizada en este Laboratorio cumple con las Normas Técnicas Peruanas.



[Firma]
M. SC. RODOLFO TINEO HUANCAS
ANALISTA

Ilustración 3 Análisis fisicoquímico de muestra de agua. Unidad de servicios técnicos de la facultad de Ingeniería química e industrias alimentarias

Según el ensayo fisicoquímico que se realizó a una muestra de agua cuya procedencia fue del Laboratorio de Ensayos Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil, Sistemas y Arquitectura (FICSA), dio como resultado ser apto para consumo humano (AGUA POTABLE). De este modo se cumple con los requisitos de la NTP 339.088:2006, la cual nos indica que el agua idónea para fines constructivos debe ser agua potable.

2.3 PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS DE CONCRETO

El proporcionamiento (diseño) se refiere al proceso de determinación de las cantidades de materiales a usar con el fin de lograr las características especificadas. Un concreto correctamente proporcionado posee las siguientes características tales como trabajabilidad, durabilidad y economía.

2.3.1 INFORMACIÓN REQUERIDA PARA UN DISEÑO DE MEZCLA

- Análisis granulométrico
- Humedad natural y porcentaje de absorción
- Peso unitario suelto y varillado de los agregados
- Peso específico de los agregados y del cemento
- Tipo y marca del cemento
- Especificaciones de obra

2.3.2 PASOS PARA EL DISEÑO DE MEZCLA

Para realizar el proporcionamiento de las mezclas hicimos uso del método del comité 211 ACI-2009, así como del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) E-060 de concreto Armado 2019, cuya última actualización data del 2009.

- Cálculo de la resistencia requerida cuando no se conoce la desviación estándar (S_s) y selección del asentamiento (3"- 4" consistencia plástica).

Tabla 16

Resistencia requerida

RESISTENCIA ESPECIFICA f'_c (kg/cm ²)	RESISTENCIA REQUERIDA f'_{cr} (kg/cm ²)
<210	70
210-350	85
>350	$1.10 \cdot f'_c + 50$

Fuente: Comité 211 ACI 2009

- Seleccionar la relación de agua/ cemento solicitada, teniendo en cuenta la resistencia requerida y si la mezcla necesita que se le incorpore aire o no. Como estamos realizando diseños que serán usados en la Región de Lambayeque cuyo clima es templado no se le incorporará aire. Ya que en el RNE. E060, capítulo V nos indica que en climas fríos se deberá fabricar concreto con aire incorporado.

Tabla 17

Relación A/C

F'_c (28 días)	C. SIN AIRE INCORPORADO	C. CON AIRE INCORPORADO
153	0.69	0.7
204	0.69	0.6
255	0.61	0.52
306	0.54	0.45
357	0.47	0.39
408	0.42	-

Fuente: Comité 211 ACI 2009

Y para el concreto con moderada exposición a sulfatos, que es característico de la Región y además se encuentra sustentado en el estudio de mecánica de suelos respaldado en el punto 2.2.3. Se nos recomienda usar una relación a/c máximo, tal como se encuentra detallada en la tabla N°18.

Tabla 18

Concreto expuesto a soluciones de sulfato

EXPOSICION A SULFATOS	SULFATOS SOLUBLES EN AGUA (SO ₄)	SULATOS EN AGUA (ppm)	TIPO DE CEMENTO	A/C MÁXIM A	f'c MÍNIMA
INSIGNIFICANTE	$0 \leq \text{SO}_4 \leq 1000 \text{ ppm}$	$0 \leq \text{SO}_4 \leq 150$	Cualquier tipo	-----	-----
MODERADA	$1000 \leq \text{SO}_4 \leq 2000 \text{ ppm}$	$150 \leq \text{SO}_4 \leq 1500$	II IP(MS), IS (MS), P(MS), I IP(MS), I (MS)(MS)	0.50	280 Kg/cm ²
SEVERA	$2000 \leq \text{SO}_4 \leq 20000 \text{ ppm}$	$150 \leq \text{SO}_4 \leq 10000$	V	0.45	315 Kg/cm ²
MUY SEVERA	$\text{SO}_4 \leq 20000 \text{ ppm}$	$\text{SO}_4 \leq 10000$	V más PUZOLANA	0.45	315 Kg/cm ²

Fuente: Comité 211 ACI 2009

- Cálculo del agua, en función del Tamaño Máximo Nominal del agregado y el asentamiento. Así como el porcentaje de aire atrapado.

Tabla 19

Cálculo del agua

			TMN DEL AGREGADO SIN AIRE INCORPORADO							
ASENTAMIENTO			3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
1	a	2	207	199	190	179	166	154	130	113
3	a	4	228	216	205	193	181	169	145	124
6	a	7	243	228	216	202	190	178	160	
			TMN DEL AGREGADO CON AIRE INCORPORADO							
ASENTAMIENTO			3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
1	a	2	181	175	168	160	150	142	122	107
3	a	4	202	193	184	175	165	157	133	119
6	a	7	216	205	197	184	174	166	154	

Fuente: Comité 211 ACI 2009

- Cálculo del agregado grueso y fino.
- Ajuste por humedad del agregado.
- Relación de a/c de diseño y efectiva.

2.4 ENSAYOS DE CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO

2.4.1 MEDICIÓN DEL ASENTAMIENTO (NTP 339.035:2009)

Este ensayo se realiza con la finalidad de monitorear la consistencia del concreto fresco. El asentamiento del concreto incrementa proporcionalmente con el contenido de agua, pero está relacionado inversamente a la resistencia del mismo. Este método se aplica para concretos plásticos con agregados hasta 37.5 mm (1 ½”).

La muestra de concreto fresco es colocada en un cono de Abrams, llenándolo en tres capas proporcionales y siendo compactado con una barra de 16 mm de diámetro y 600 mm de longitud, cada capa con 25 golpes. Luego de enrasar el borde superior, se procedió a levantar el molde a una altura máxima de 300 mm. Se hace toma de la medida del asentamiento, determinando la diferencia entre la altura del molde y la del centro desplazado de la cara superior del cono deformado.

En la Ilustración 4 y 5 se puede apreciar las características del cono de Abrams y el proceso de cómo realizar la medición del asentamiento del concreto en estado fresco. Se recomienda tener cuidado al levantar el cono en dirección vertical, sin movimientos laterales o de torsión y sin tocar la mezcla con el molde cuando este se ha separado del concreto.

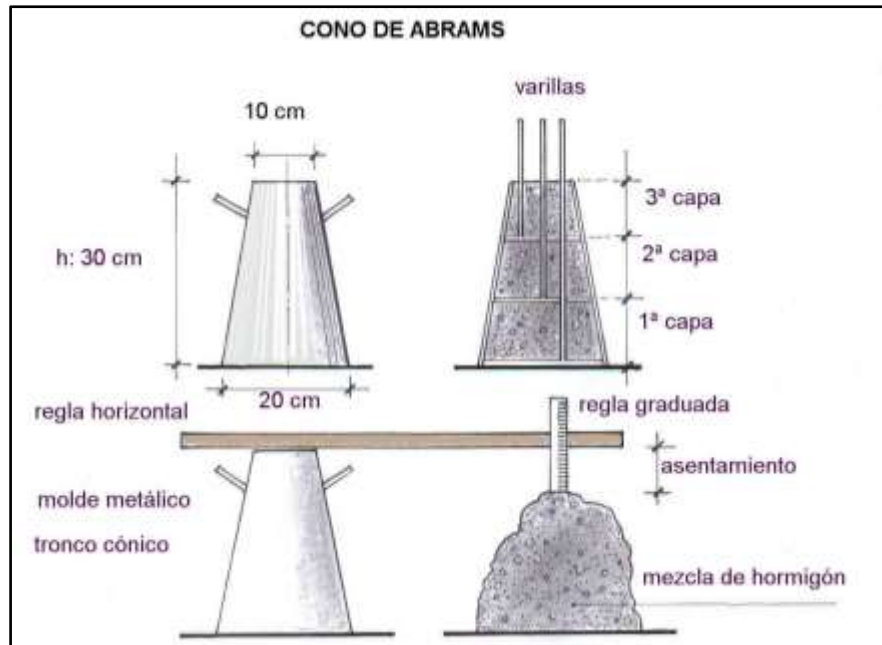


Ilustración 4 Enciclopedia Construmática. (Barcelona, 2008). Características del cono de Abrams. Recuperado de https://www.construmatica.com/construpedia/Cono_de_Abrams

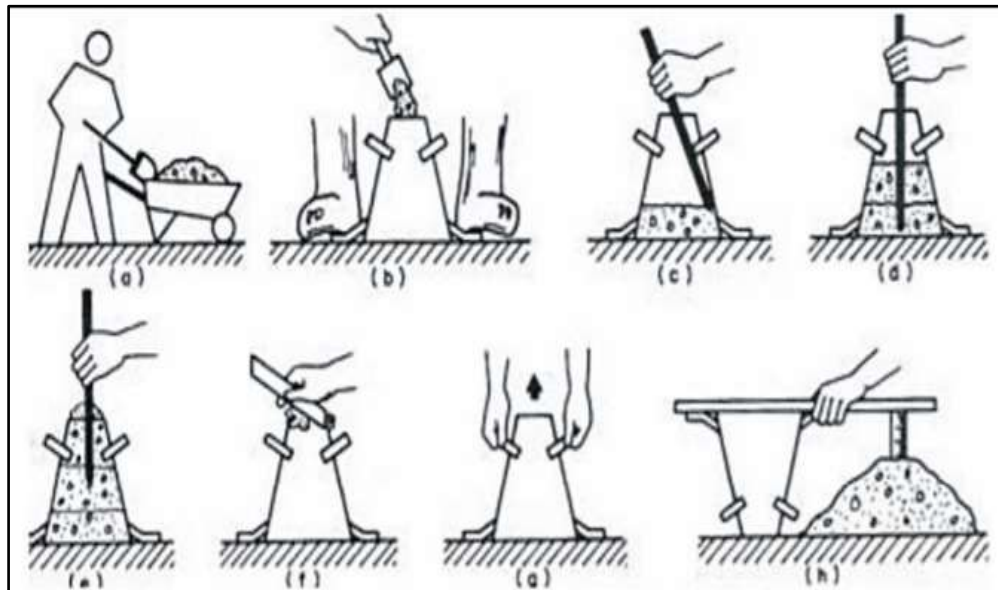


Ilustración 5 Niño, J. R. (ED). (2010). Proceso de ensayo de asentamiento del concreto fresco. Tecnología del concreto Tomo 1: Materiales, propiedades y diseño de mezclas., pág. 104.

Tabla 20

Asentamientos recomendados para diversos tipos de construcción y sistema de colocación

CONSISTENCIA	ASENTAMIENTO mm	EJEMPLO DE TIPO DE CONSTRUCCIÓN	SISTEMA DE COLOCACIÓN
MUY SECA	0-20	Prefabricados de alta resistencia, revestimiento de pantalla de cimentación.	Con vibradores
SECA	20-35	Pavimentos	Pavimentos con máquina terminadora vibratoria
SEMISECA	35-50	Pavimentos, fundaciones en concreto simple	Colocación con máquinas operadas manualmente
PLÁSTICA	50-100	Pavimentos compactados a mano, losas, muros, vigas, columnas, cimentaciones	Colocación manual
HUMEDA	100-150	Elementos estructurados esbeltos o muy reforzados	Bombeo
MUY HUMEDA	150-200	Pilotes fundidos in situ	Tubo embudo tremie
SUPER FLUIDA	Más de 200	Elementos muy esbeltos	Autonivelante, autocompactante

Fuente: Rivera, G. A. *Concreto simple*. Recuperado de <https://civilgeeks.com/2013/08/28/libro-de-tecnologia-del-concreto-y-mortero-ing-gerardo-a-rivera-l/>

En la Tabla 20 se muestran los diferentes tipos de asentamiento, que dependen de su consistencia, tipos de construcción y sistemas de colocación.

2.4.2 ESFUERZO A COMPRESIÓN EN ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO (NTP 339.034:2008)

Este método tiene como finalidad de aplicar una carga de compresión axial a los cilindros moldeados o extracciones diamantinas a una velocidad normalizada mientras ocurre una falla.

La resistencia de la probeta es obtenida de la división de la carga alcanzada en el ensayo entre el área de la sección recta de la probeta. Cabe indicar que los valores obtenidos en el ensayo dependerán del tamaño, forma de la probeta, tanda, proceso de mezclado, moldeo, elaboración de la misma y condiciones de humedad durante el curado.

Para este ensayo se hará uso de la prensa de concreto de procedencia rusa cuya marca es 3NM, la cual es calibrada conforme la ASTM E 4, en donde la calibración es anual y se aplica la carga de manera continua. El método utilizado para la calibración es por comparación, en este método se compara directa e instantáneamente los valores proporcionados por el equipo bajo calibración versus los proporcionados por un instrumento patrón de referencia. La calibración posee un nivel de confiabilidad del 95%.

Los cilindros con dimensiones 6"x12" serán sometidos al ensayo de compresión en condiciones húmedas, estos serán alineados a los ejes de la probeta con el centro de empuje de la rótula del bloque asentado. Se registrará la carga máxima alcanzada por espécimen durante el ensayo y se anota el patrón de falla posee.

El certificado de calibración de la prensa de concreto se encuentra en el Anexo J-5.

2.4.3 TIPOS DE FALLA EN PROBETAS

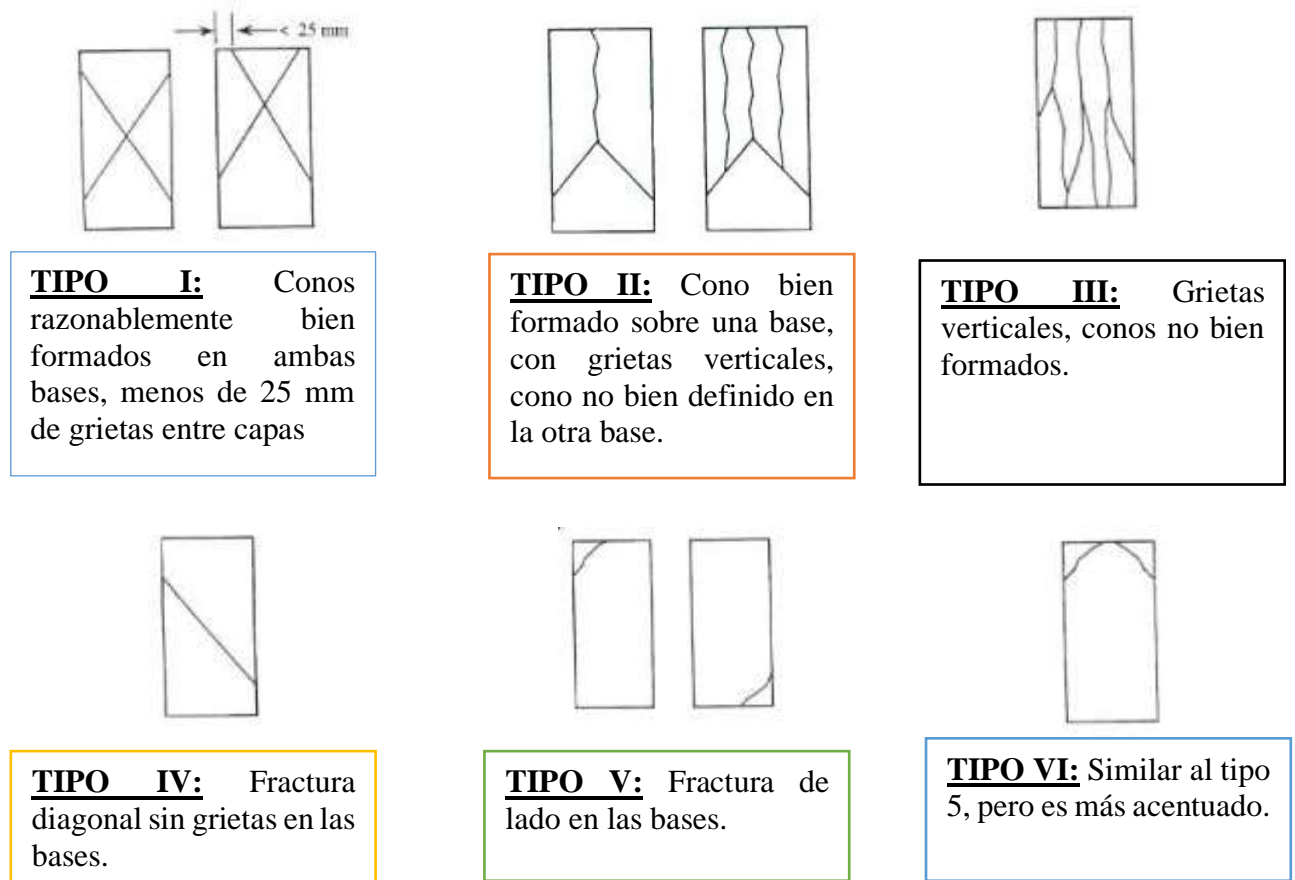


Ilustración 6 Esquema de los patrones de tipos de fracturas. NTP 339.034:2008.

Muñoz, J. (2014) *Efectos de la sílice amorfa en las propiedades cristaloquímicas y mecánicas del hormigón en un medio salino* (Tesis de pregrado) se indica:

La falla tipo cono (Tipo I) es la falla ideal, esta se logra con una carga de compresión bien aplicada sobre una probeta de prueba. La falla tipo columnar y cono (Tipo II) ocurren en probetas que presentan cara de aplicación de carga convexa y/o deficiencia del material. La falla columnar (Tipo III), se presenta cuando hay deficiencia del material o concavidad en una de las placas de carga. La falla por corte (Tipo IV) se observa cuando las caras de aplicación de carga se encuentran cercanas al límite de tolerancias especificadas. (Pág. 21 -22)

2.5 INTELIGENCIA ARTIFICIAL

La Inteligencia Artificial (IA) es posiblemente una de las disciplinas que induce más a la imaginación en los que escuchan este término por primera vez, debido a que la ciencia ficción se ha encargado en crear ese halo de misterio que nos permite soñar con ver máquinas capaces de razonar. Hoy en día los avances tecnológicos han dado pasos agigantados y ya se observa que estos sueños no están ajenos a nuestra realidad.

Por extraño que pueda parecer, aun no hay un consenso sobre lo que es la IA, y mucho menos se ha llegado a una definición exacta sobre que programas son inteligentes o no. El primer intento en definir la IA lo hizo el matemático Alan Turing (1950), en el artículo llamado *Computing Machinery and Intelligence*, argumentaba: “Si una máquina puede actuar como un humano, entonces podemos decir que es inteligente”. Además Badaró, Ibañez & Agüero (2013) afirman que: “La inteligencia artificial está referida al modo de simular las capacidades de inteligencia del cerebro humano”. En la actualidad muchos más autores han ido transformando y mejorando este concepto, SAS (analítica, inteligencia artificial y gestión de datos) define a la IA como “aquella disciplina que hace posible que las máquinas aprendan de la experiencia, se ajusten a nuevas aportaciones y realicen tareas como hacen los humanos”.

Tal vez su definición va de la mano con su historia, pero se ha vuelto más popular hoy día gracias al incremento en los volúmenes de datos, algoritmos avanzados y mejoras en el poder de cómputo y el almacenaje.

La investigación inicial de la IA se da en la década de 1950 cuando se exploraba temas como la solución de problemas y métodos simbólicos. En 1960 el Departamento de Defensa de los Estados Unidos mostró interés en este tipo de trabajo y comenzó a entrenar computadoras para que imitaran el razonamiento humano básico. Al pasar del tiempo se ha dado pasos muy grandes, por ejemplo, la Partida de kasparov y la Deep blue (la inteligencia artificial de IBM);

donde en el año 1997 un gran hito de la Inteligencia Artificial marca historia, que no solo fue recordada porque se ganara al campeón del mundo del ajedrez sino porque se demostró por primera vez que un ordenador podría dominar un campo el cual se creía muy ligado con la habilidad cognitiva humana.

En el siglo XXI ganar al ajedrez ya no es un desafío y si lo recordamos es para mencionar el logro de Google cuando en el 2015 consiguió ganar al campeón de Go del mundo, el logro de Google fue posible gracias al descubrimiento de nuevas técnicas y algoritmos durante la última década, llevando al campo de la Inteligencia Artificial hacia una época dorada, lo que algunos denominan una “Cuarta revolución”, la cual es una transformación que parte de la era digital y promete revolucionar todos los niveles de la esfera humana como en los campos de la medicina, robótica, seguridad, transporte, comunicación, finanzas y hasta en la misma sociedad; sectores donde importantes empresas como Google, IBM, Microsoft, Apple o Tesla, han comenzado a invertir grandes cantidades de dinero en proyectos en los que alguna manera u otra están relacionados con la Inteligencia Artificial.

2.6 TIPOS DE APRENDIZAJE

El cerebro es una máquina tan potente como compleja, siendo uno de los grandes retos de la humanidad el llegar a descubrir ¿Cómo funciona?, para así poder responder preguntas fundamentales como: ¿De dónde emerge la inteligencia?, ¿Qué afecta a su funcionamiento? Sin embargo, en el campo de la inteligencia artificial el cerebro es una fuente de inspiración, en el cual se han desarrollado mucho de los conceptos más importantes. Uno de estos conceptos es el paradigma de aprendizaje, los cuales son **los mecanismos que permiten que podamos procesar toda información nueva que percibimos para acabar transformándolo en conocimiento.**

El cómo funcionan estos mecanismos es algo fundamental y esto es así hasta tal punto que todo los algoritmos y técnicas dentro de este campo pueden ser clasificados en 3 grandes grupos según cual sea el paradigma de aprendizaje que se estén aplicando: aprendizaje supervisado, aprendizaje no supervisado y aprendizaje reforzado.

2.6.1 APRENDIZAJE SUPERVISADO

Es un tipo de aprendizaje que se basa en descubrir la relación existente entre una variable de entrada y una variable de salida, es decir el aprendizaje surge de enseñarle a estos algoritmos cual es el resultado que quieres obtener para un determinado valor. Para lograr esto se le muestra muchos ejemplos, si se dan las condiciones el algoritmo será capaz de dar un resultado correcto incluso cuando se le muestre valores que no haya visto antes.

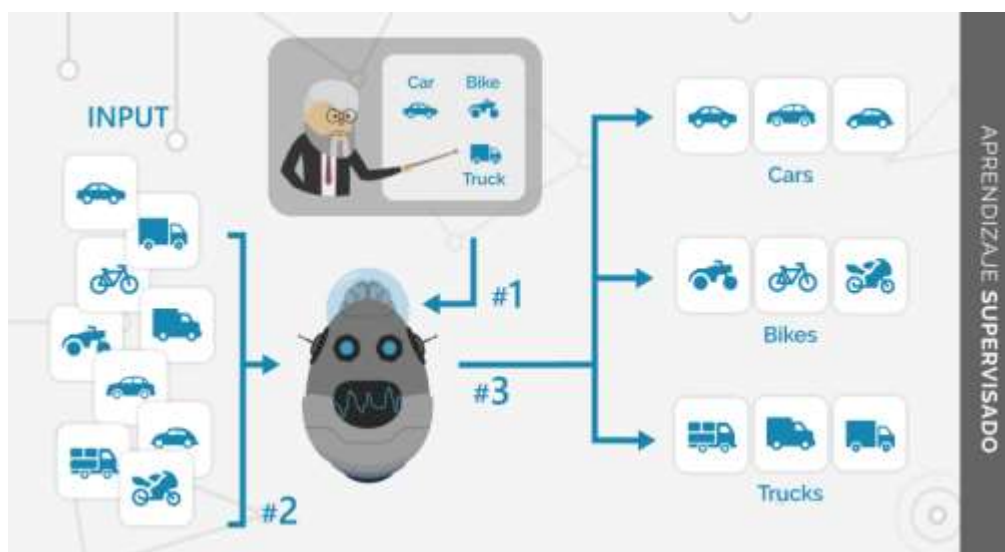


Ilustración 7 Diagrama del Flujo del Aprendizaje Supervisado. Recuperado de <https://www.auraportal.com/es/tipos-de-algoritmos-de-inteligencia-artificial-y-machine-learning/>

Este tipo de aprendizaje ha sido el paradigma que más aplicación práctica ha tenido durante la última década, liderando la nueva corriente al alza que ha vivido la IA.

Se le denomina supervisado debido al hecho de mostrarle los resultados que queremos al algoritmo, de este modo estaremos participando en la supervisión de su aprendizaje.

2.6.2 APRENDIZAJE NO SUPERVISADO

Es el paradigma que consigue producir conocimiento únicamente de los datos que se proporcionan como entrada, sin necesidad en ningún momento de explicarle al sistema que resultado se quiere obtener; es decir lo que hace es buscar patrones de similitud de los datos de entrada.

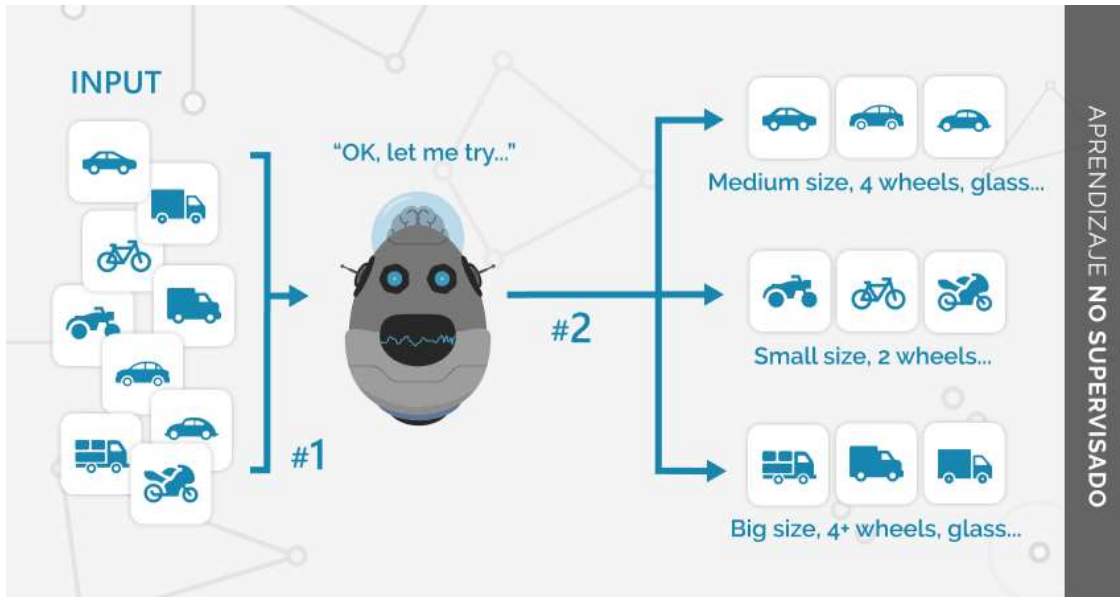


Ilustración 8 Diagrama del Flujo del Aprendizaje No Supervisado. Recuperado de <https://www.auraportal.com/es/tipos-de-algoritmos-de-inteligencia-artificial-y-machine-learning/>

Lo interesante es que los algoritmos más potentes de este tipo, son capaces de descubrir a la perfección cual es la estructura interna que han generado dichos datos. Siendo una primera ventaja que se puede deducir de este tipo de Aprendizaje, el coste de los datos conseguidos para entrenar es mucho menor.

Actualmente los algoritmos ya son capaces de aprender estas estructuras conceptuales que son denominados espacios latentes, una vez construida este espacio la máquina alcanza capacidades interesantes como la de saber si una cosa es similar a otra cosa, por ejemplo, operar matemáticamente con concepto.

El aprendizaje no supervisado señala un camino muy prometedor en el campo de la Inteligencia Artificial.

2.6.3 APRENDIZAJE REFORZADO

Los algoritmos de aprendizaje por refuerzo definen modelos y funciones enfocadas en maximizar una medida de “recompensas”, basados en “acciones” y al ambiente en el que el agente inteligente se desempeñará. Este tipo es el más apegado a la psicología conductista de los humanos, ya que es un modelo acción-recompensa, se busca que el algoritmo se ajuste a la mejor “recompensa” dada por el ambiente y sus acciones por tomar están sujetas a estas recompensas. Este tipo de métodos pueden usarse para hacer que los robots aprendan a realizar diferentes tareas.

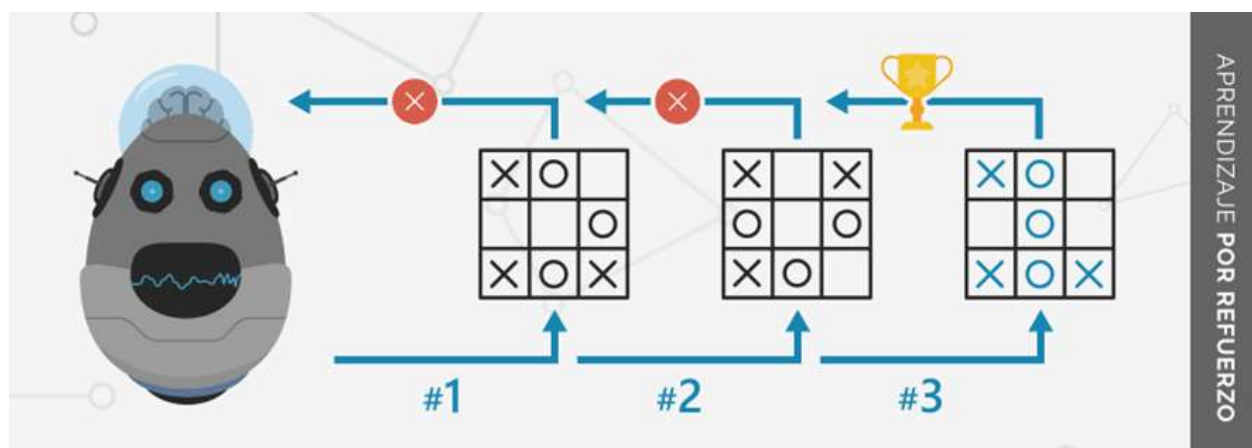


Ilustración 9 Diagrama del Flujo del Aprendizaje por Refuerzo. Recuperado de <https://www.auraportal.com/es/tipos-de-algoritmos-de-inteligencia-artificial-y-machine-learning/>

2.7 RELACIÓN ENTRE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL, MACHINE LEARNING Y DEEP LEARNING

2.7.1 INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Si tomamos todas las definiciones expuestas por diversos autores y sacamos una idea en común podemos decir que: *“La inteligencia artificial es la subdisciplina del campo de la informática, que busca la creación de máquinas que puedan imitar comportamientos inteligentes”* (McCarthy, Minsky, Rochester & Shannon ,1956). Estos comportamientos pueden ser muy diversos: conducir, analizar patrones, reconocer voces o ganar juegos; son muchas las formas en la que una máquina puede simular un comportamiento inteligente y cada vez tenemos más ejemplos de cómo en ciertas áreas logran alcanzar un rendimiento mayor al del humano, pero ¿Eso los convierten en más capaces que nosotros?

Para poder entender mejor este campo, cogeremos diferentes IA que sobresalen en un dominio muy específico y trataremos de hacerlo funcionar en otro campo diferente al suyo, el resultado que se obtiene es desastroso. Esta capacidad de poder realizar múltiples tareas es una característica muy codiciada que al día de hoy se sigue investigando en todos los departamentos de IA y es lo que nos lleva a una primera clasificación de los tipos de IA.

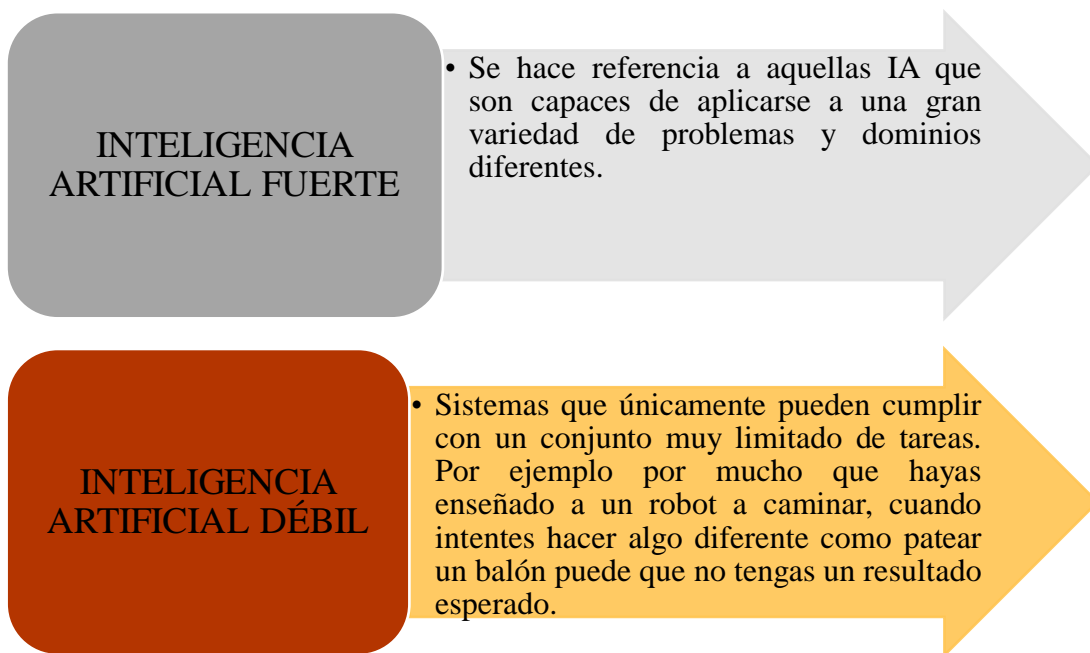


Ilustración 10 Tipos de Inteligencia Artificial. Elaboración propia

Se sabe que al día de hoy todas nuestras IA aún se clasifican en el segundo grupo, por mucho que en la ciencia ficción haya llegado al primero hace muchos años.

Volviendo a nuestra definición, y remarcando la palabra **imitar un comportamiento inteligente**, ya que es la clave para poder entender el resto de conceptos. Se entiende que *imitar* no significa que dicho comportamiento sea en esencia un comportamiento cognitivo, es decir se puede programar de manera clásica los movimientos de un brazo robótico para que siempre realice un mismo movimiento, eso en principio no parece muy inteligente por la lógica del movimiento programado; sin embargo, esto encaja dentro de la definición que hemos dado, ya que en apariencia la máquina realiza un comportamiento inteligente.

Visto así dentro del campo de la IA podemos encontrar diferentes subcategorías que responden a diferentes comportamientos inteligentes. Por ejemplo, el campo de la *robótica*, capacidad de moverse y adaptarse al entorno, *procesamiento del lenguaje natural (NLP)*,

que es la capacidad de entender el lenguaje, *la voz* que es la capacidad de poder hablar, un campo donde se estudia la conversión de voz a texto o de texto a voz.



Ilustración 11 Dot CSV. (España, 2017).Subcategorías de la Inteligencia Artificial, recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=KytW151dpqU&t=1s>

2.7.2 MACHINE LEARNING

El Machine Learning (Aprendizaje Automático) es la rama del campo de la IA, que busca **cómo dotar a las máquinas de capacidad de aprendizaje**. Entendido esto como la generalización del conocimiento a partir de un conjunto de experiencias. Este aprendizaje puede dividirse en tres grupos diferentes: Aprendizaje Supervisado, Aprendizaje No Supervisado y Aprendizaje Reforzado.

Por tanto, decimos que el machine learning es una disciplina dentro de la IA, pero no cualquier disciplina sino un componente nuclear que se reconecta con el resto de categorías, porque las otras capacidades pueden ser imitadas ya sean porque alguien las haya programado o mucho más interesante porque el propio sistema haya aprendido a realizarlas. Una cosa es programar una máquina para que pueda moverse y otra muy diferente es programarla para que aprenda a moverse, igualmente no es lo mismo programar qué

elementos forman una cara o que automáticamente aprender qué es una cara, este cambio de paradigma es lo que hace interesante al machine learning y por ello es muy común confundir la parte por el todo y decir que la IA y el MACHINE LEARNING es la misma cosa. Por lo ya explicado podemos inferir que el machine learning está incluido dentro del campo de la IA.

Dentro del machine learning se encuentra un nuevo mundo donde existen diferentes técnicas que sirven para cubrir diferentes tipos de aplicación, por ejemplo, técnicas como los arboles de decisión, modelos de regresión, modelos de clasificación, técnicas de clusterización, entre otras.

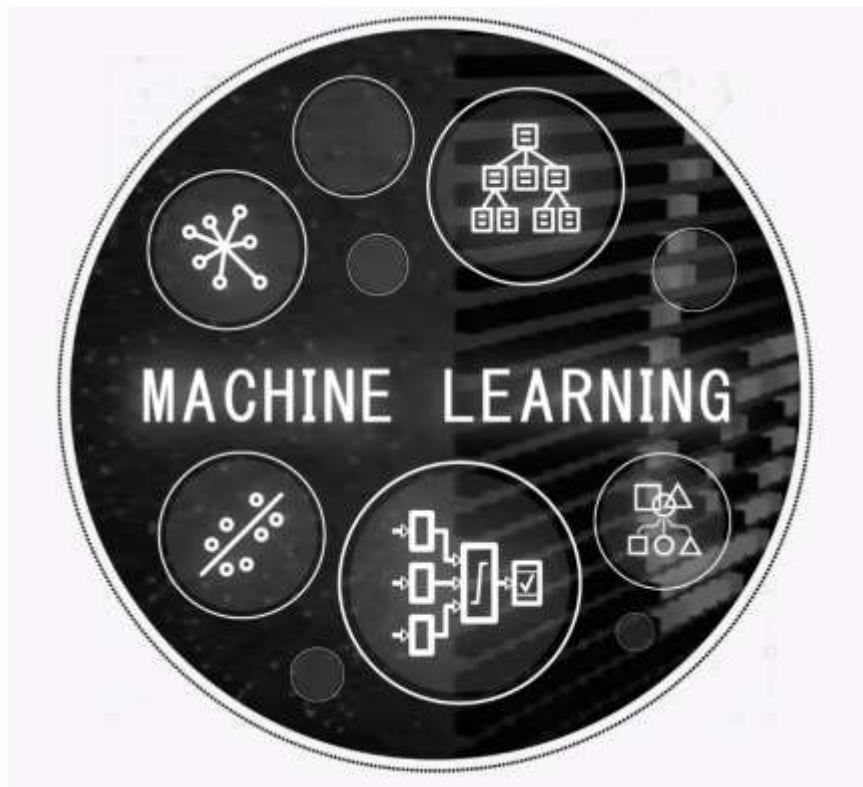


Ilustración 12 Dot CSV. (España, 2017). Técnicas de Machine Learning.
Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=KytW151dpqU&t=1s>

Sin embargo, hay una de estas técnicas que ha dado fama al campo del machine learning durante la última década, son las Redes Neuronales Artificiales (RNA). Lo interesante de las RNA es que son capaces de aprender de una forma jerarquizada, es decir, la información

se aprende por niveles donde las primeras capas aprenden conceptos muy concretos, como por ejemplo qué es un espejo, qué es una rueda; y en las capas posteriores se usan la información aprendida previamente para aprender conceptos más abstractos, como por ejemplo qué es un coche, qué es un camión, qué es una moto. Esto hace que a medida que añadimos más capas la información que se aprende es cada vez más abstractas e interesante.

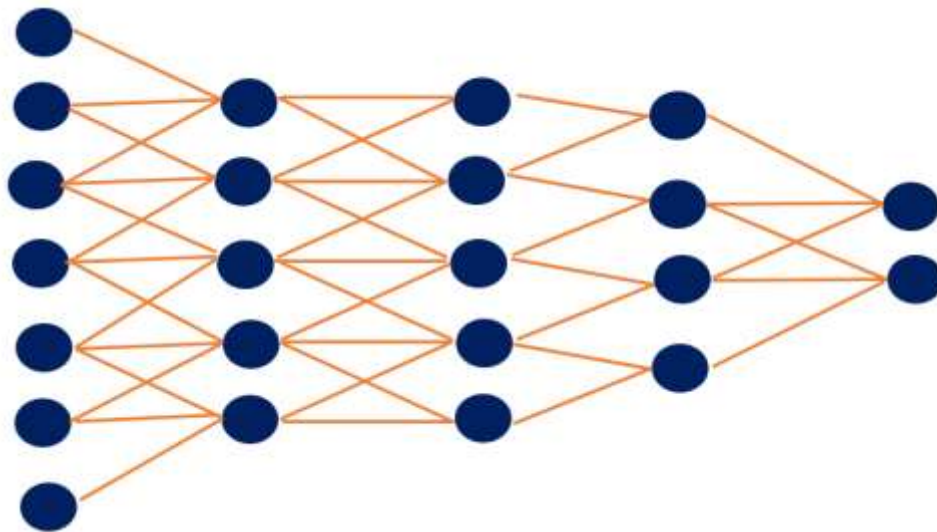


Ilustración 13 Aprendizaje Jerarquizado de una Red Neuronal Artificial. Elaboración propia

¿Cuántas capas podemos poner? Pues no hay límites y la tendencia es que cada vez estos algoritmos añaden más y más capas, convirtiéndose en algoritmos más complejos. Este incremento en el número de capas y la complejidad es lo que hace que estos algoritmos sean conocidos como algoritmos de DEEP LEARNING.

2.7.3 DEEP LEARNING

El término de DEEP LEARNING O APRENDIZAJE PROFUNDO es una técnica muy compleja, esta entrena y aprende a partir de los datos.

Actualmente nos encontramos inmersos en la era de la información con la llegada de la digitalización, el saldo de los dispositivos de almacenamiento y un cambio de mentalidad a la hora de apreciar el valor de los datos; convirtiéndose en tendencia acumular más y más

datos lo que se ha denominado BIG DATA, por tanto y para resumir el BIG DATA hace referencia al fenómeno de acumular grandes cantidades de datos ,aunque también se suele utilizar para referirse al proceso de análisis de todos estos datos desde el momento en que se captura hasta el momento en el que se trasforman en conocimiento. Para esto se requieren de potentes y complejas técnicas, como el uso del Deep learning.

En resumen, las redes neuronales son una familia de algoritmos de aprendizaje automático que han dado un nuevo resurgir al campo del machine learning y por tanto al campo de la inteligencia artificial.

2.8 NEURONAS ARTIFICIALES

Ya conozcamos o no sobre el campo de la IA posiblemente nos hayamos cruzado con este término en alguna ocasión, es que las RNA se han convertido en la familia de algoritmos del machine learning más populares de esta oleada que estamos viviendo. Como modelo computacional existe desde mediados del ciclo pasado, pero no ha sido hasta hace unos años que con la mejora de técnica y de la tecnología se ha empezado a utilizarlo a lo grande. Estas realizan diferentes funciones tales como el reconocimiento de caracteres, de imágenes, de voz, predicción versátil, generación de textos, traducción de idiomas, prevención de fraude, conducción autónoma, análisis genético, pronóstico de enfermedades, entre otros. Se trata de una familia de algoritmos muy potentes con los que podemos modelar comportamientos inteligentes, pero ¿Cómo funcionan?

Como suele ocurrir con la mayoría de comportamientos y estructuras avanzadas, la complejidad de estos sistemas surge de la interacción de muchas partes más simples que trabajan conjuntamente, en el caso de una red neuronal a cada una de sus partes se le denomina NEURONA.

Una neurona es la unidad básica del procesamiento que nos vamos a encontrar dentro de una red neuronal. Similar a una neurona biológica estas tienen conexiones de entrada a través de los cuales reciben estímulos externos así se conforman los valores de entrada, con estos valores la neurona realiza un cálculo interno y genera un valor de salida. Este cálculo interno no deja de ser una función matemática, pero ¿de qué se trata este cálculo numérico?

Internamente la neurona utiliza todos sus valores de entrada para realizar una suma ponderada de ellos, la ponderación de cada uno de las entradas viene dado por los pesos que se le asigna a cada uno de las conexiones de entrada, es decir cada conexión que llega a nuestra neurona tendrá asociado un valor que servirá para definir con que intensidad cada variable de entrada afecta a la neurona. Esto se suele representar como palancas que podemos subir o bajar para modificar positivo o negativamente el valor de nuestra suma, estos pesos son los parámetros de nuestro modelo y serán los valores que podemos ajustar para que nuestra neurona pueda aprender.

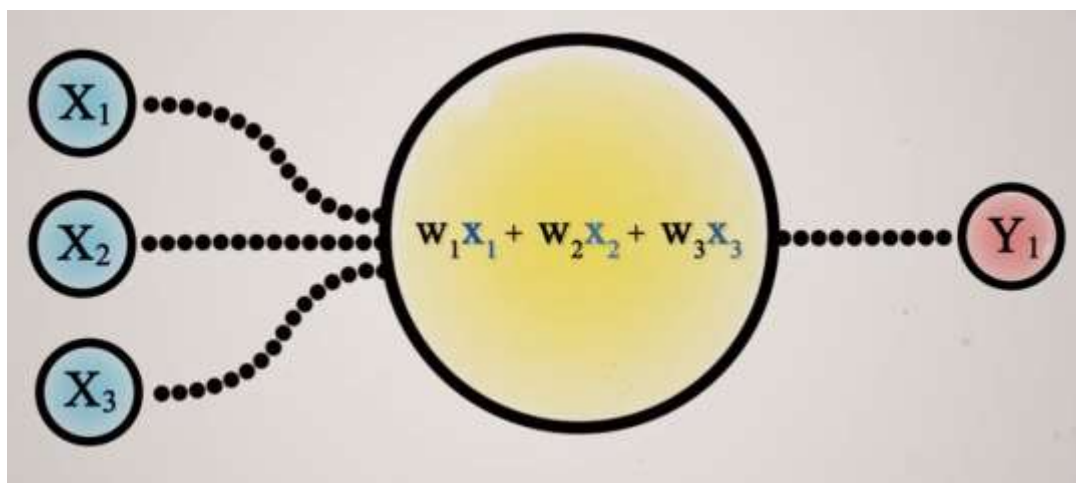


Ilustración 14 Dot CSV. (España, 2018). Matemáticas de una Neurona. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=MRiv2IwFTPg&list=PL-Ogd76BhmcDxef4liOGXGXLL-4h65bs4&index=11>

Se puede decir que la neurona realiza internamente un modelo de regresión lineal, así como en esta función matemática tiene un término independiente para poder mover verticalmente a

la recta, en la neurona existe un término que da el control para mover dicha función. Este valor se le denomina SESGO O BIA, el cual se representa como otra conexión a la neurona, pero en el que la variable siempre está asignada a 1 y que podemos controlar manipulando el valor del parámetro del SESGO, de esta manera la neurona actúa exactamente como el modelo de regresión lineal que se encuentra esquematizado en la Ilustración 15.

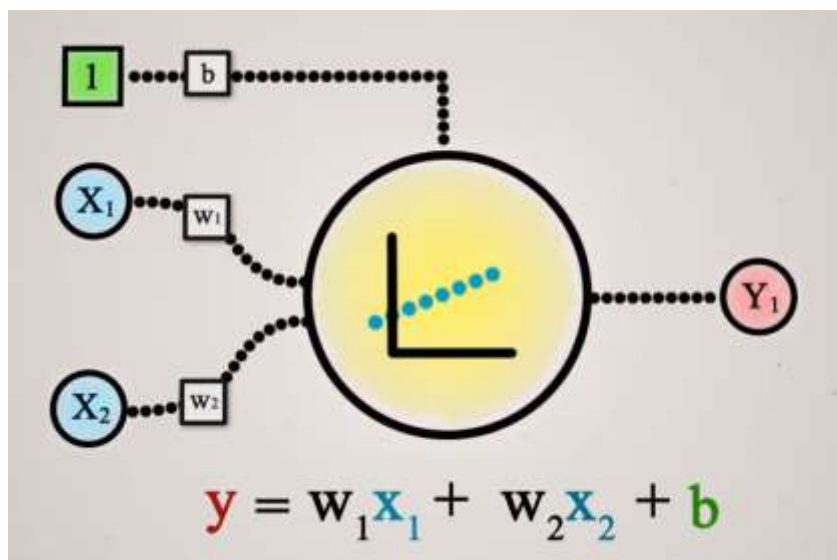


Ilustración 15 Dot CSV. (España, 2018). Modelo de una neurona. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=MRIv2IwFTPg&list=PL-Ogd76BhmcDxef4liOGXGXLL-4h65bs4&index=11>

Ejemplos claros de Neuronas Artificiales son las compuertas lógicas AND y OR, las rectas definidas por dichas compuertas en una neurona toman la siguiente forma:

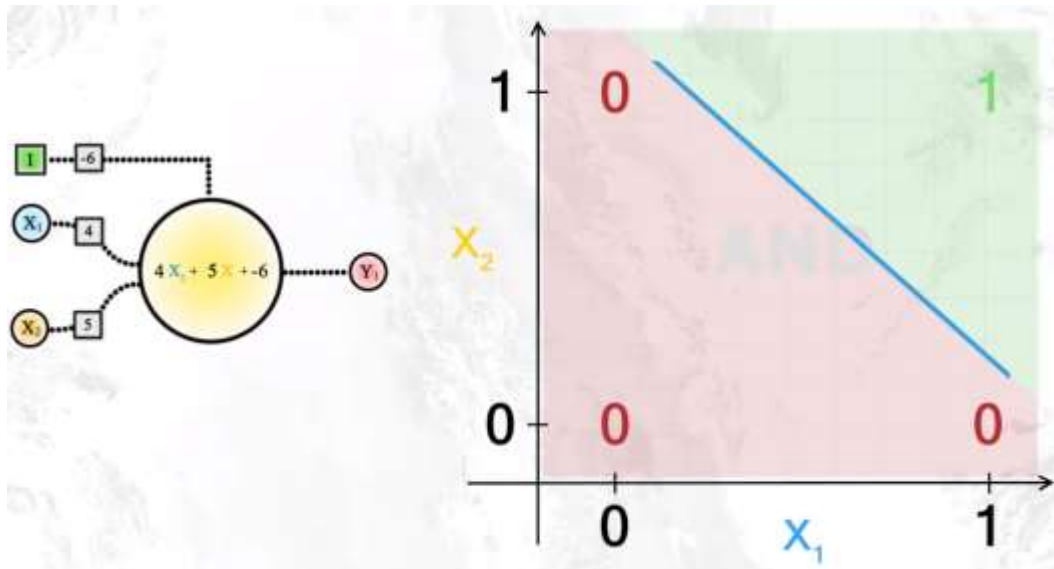


Ilustración 16 Dot CSV. (España, 2018). Compuerta Lógica AND. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=MRiv2IwFTPg&list=PL-Ogd76BhmcDxef4liOGXGXLL-4h65bs4&index=11>

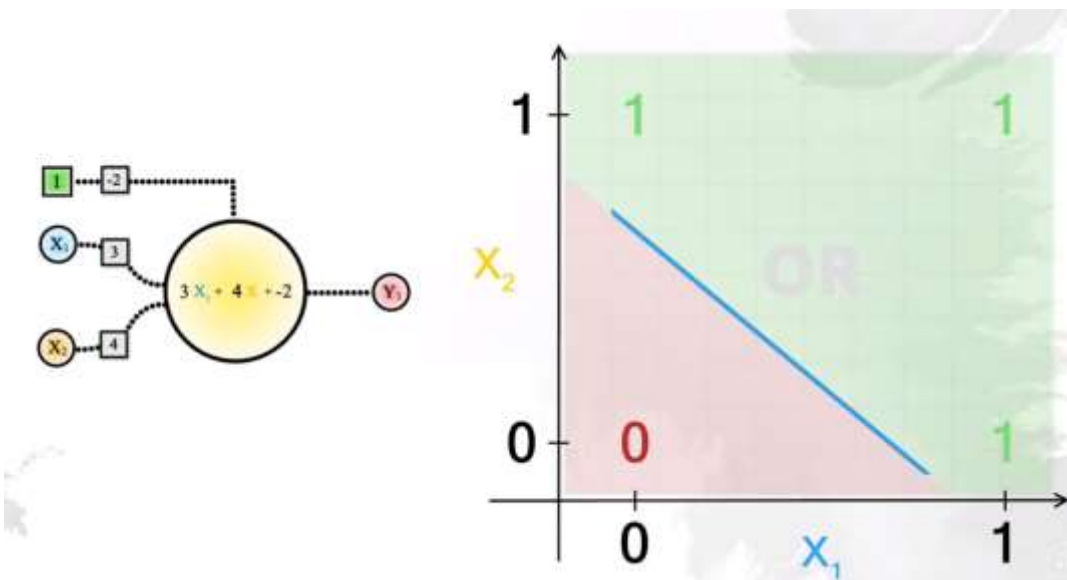


Ilustración 17 Dot CSV. (España, 2018). Compuerta Lógica OR. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=MRiv2IwFTPg&list=PL-Ogd76BhmcDxef4liOGXGXLL-4h65bs4&index=11>

En la Ilustración 16 y Ilustración 17 se observa que trazando una recta se separa a la gráfica en dos grupos diferentes, formando una frontera entre las clases de parámetros que se quiere clasificar.

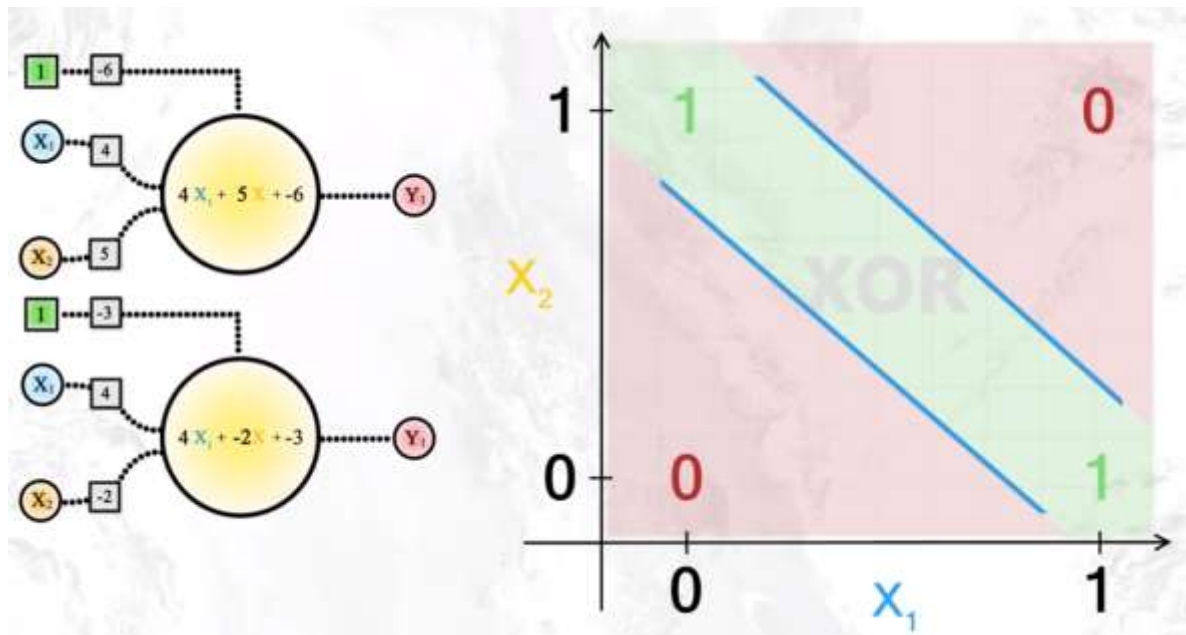


Ilustración 18 Dot CSV. (España, 2018). Compuerta Lógica XOR. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=MRiv2IwFTPg&list=PL-Ogd76BhmcDxef4liOGXGXLL-4h65bs4&index=11>

En la Ilustración 18 se puede observar a la compuerta lógica XOR que es imposible separar linealmente a ambas clases, la solución a este problema es añadir una segunda neurona y ahora con las dos neuronas se tiene dos rectas que se utilizan para separar ambos grupos. Esta limitación de la neurona resuelve el problema de la compuerta XOR que se conoce desde el año 1969 e ilustra muy bien la necesidad de combinar varias neuronas para poder conseguir modelos más complejos agregando un componente más (la función de activación).

2.9 REDES NEURONALES ARTIFICIALES

Podemos definir a una Red Neuronal Artificial como “modelos matemáticos inspirados en sistemas biológicos, adaptados y simulados en computadoras convencionales” (Lara, 1998).

Está conformada por un conjunto de neuronas, una manera de organizarlas es colocándolas en la misma columna o capa. A la primera capa donde están las variables de entrada se le

denomina *capa de entrada*, a la última *capa de salida* y a las capas intermedias se le denomina *capas ocultas*.

Se sabe que las neuronas que se encuentren en la misma capa recibirán la misma información de entrada de la capa anterior y los cálculos realizados pasaran a la capa siguiente.

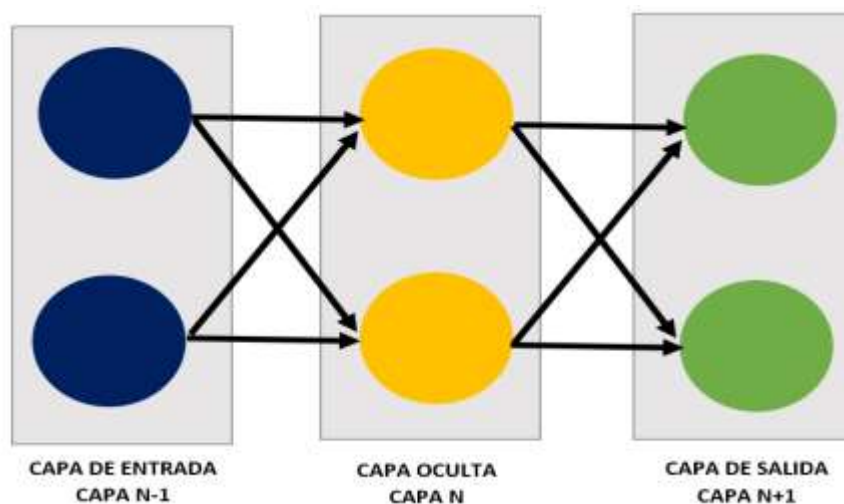


Ilustración 19 Capas de una Red Neuronal Artificial .Elaboración propia.

Las neuronas son colocadas de una forma secuencial recibiendo la información procesada de la neurona anterior, de esta manera la RNA adquiere un conocimiento jerarquizado. Es decir, el conocimiento elaborado en las capas posteriores será procesado por las capas anteriores, de ese modo se elabora un conocimiento más complejo, abstracto e interesante, consiguiendo así que una neurona puede descubrir más respuestas.

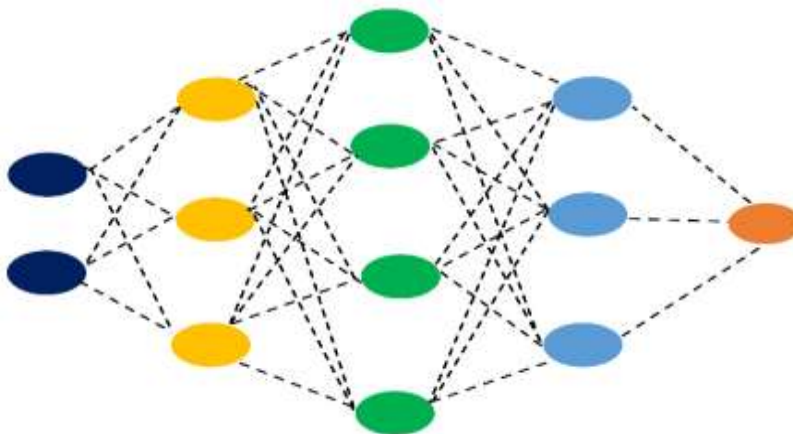


Ilustración 20 Arquitectura de Red Neuronal Artificial .Elaboración propia

Sin embargo, mientras más capas se añadan más complejo será el conocimiento que se elabore, esta profundidad en la cantidad de capas es lo que le denomina aprendizaje profundo o deep learning.

Para alcanzar un aprendizaje se requiere conectar múltiples neuronas de forma secuencial, sabiendo que cada una de estas neuronas es un problema de regresión lineal. Matemáticamente lo que se desarrolla es que se concatene diferentes operaciones de regresión lineal, llevándonos a un problema y es que se puede comprobar que el efecto de sumar muchas operaciones de regresión lineal equivaldría a la suma de muchas líneas rectas y esto da como respuesta el haber realizado una única operación, es decir otra línea recta y con ello colapse hasta ser equivalente a tener una única neurona. Para conseguir que una red neuronal no colapse se necesita que la suma equivalente dé como resultado algo diferente a una línea recta, pero para que esto suceda cada una de las líneas deben sufrir alguna manipulación no lineal que las distorsionen y esto se puede conseguir gracias a las funciones de activación.

2.9.1 FUNCIÓN DE ACTIVACIÓN

La función de activación es la última componente en la estructura de una neurona. Básicamente si en una neurona lo que se hace es calcular como valor de salida una suma ponderada, lo que ahora se realiza es pasar dicho valor de salida por una función de activación, en donde se distorsiona dicho valor añadiéndole deformaciones no lineales para así poder desencadenar de forma efectiva la computación de varias neuronas.

2.9.1.1 TIPOS DE FUNCIÓN DE ACTIVACIÓN

- **FUNCIÓN SIGMOIDE:** La función sigmoide transforma los valores introducidos a una escala (0,1), donde los valores altos tienden de manera asintótica a 1 y los valores muy bajos tienden de manera asintótica a 0. Las características de la función sigmoide son:

- Satura y mata el gradiente
- Lenta convergencia
- No está centrada en el cero
- Está acotada entre 0 y 1
- Buen rendimiento en la última capa

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$$

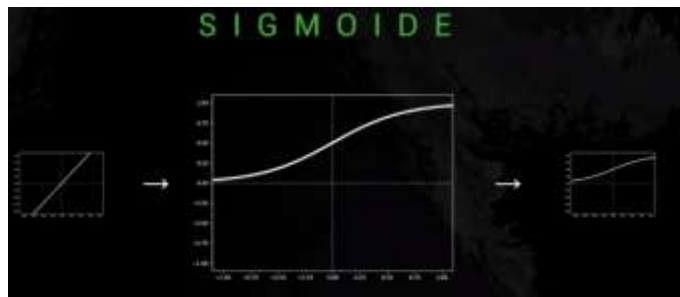


Ilustración 21 Dot CSV. (España, 2018). Función Sigmoidal. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=uwbHOpp9xkc&list=PL-Ogd76BhmcDxef4liOGXGXLL-4h65bs4&index=12>

- **FUNCIÓN TANGENTE HIPERBÓLICA:** La función tangente hiperbólica transforma los valores introducidos a una escala (-1,1), donde los valores altos tienden de manera asintótica a 1 y los valores muy bajos tienden de manera asintótica a -1. Las características que posee son:

- Satura y mata el gradiente
- Lenta convergencia
- Centrada en 0
- Está acotada entre -1 y 1
- Se utiliza para decidir entre una opción y la contraria
- Buen desempeño en redes recurrentes

$$f(x) = \tanh(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}}$$

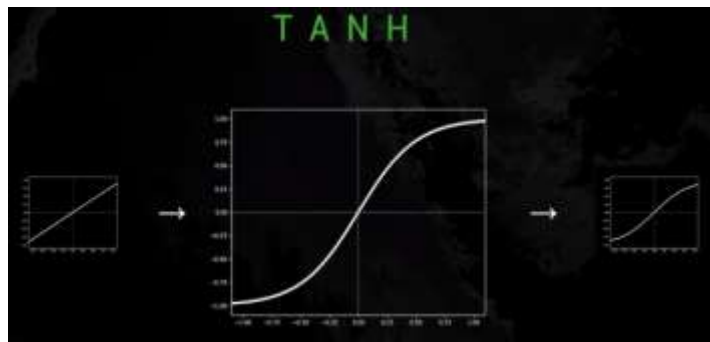


Ilustración 22 Dot CSV. (España, 2018). Función Tangente Hiperbólica. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=uwbHOpp9xkc&list=PL-Ogd76BhmcDxef4liOGXGXLL-4h65bs4&index=12>

- **FUNCIÓN RELU:** La función RELU transforma los valores introducidos anulando los valores negativos y dejando los positivos tal y como entran. Las características de la función RELU (UNIDAD RECTIFICADA LINEAL) son las siguientes:

- Salida no a 0 (Activación Sparse)
- No está acotada
- Se comporta bien con imágenes
- Buen desempeño en redes convolucionales

$$f(x) = \begin{cases} 0 & \text{for } x < 0 \\ x & \text{for } x \geq 0 \end{cases}$$

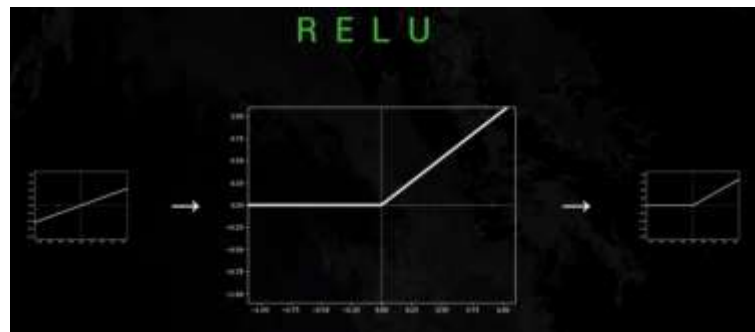


Ilustración 23 Dot CSV. (España, 2018). Función RELU. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=uwbHOpp9xkc&list=PL-Ogd76BhmcDxef4liOGXGXLL-4h65bs4&index=12>

Cada una de estas funciones además de aportar la no linealidad, también ofrecen diferentes beneficios dependiendo cuando lo utilizemos. Al añadir estas deformaciones no lineales se da por solucionado el problema de poder encadenar varias neuronas.

2.10 CLASIFICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES

El data Scientist Calvo, D. (2017) clasifica a los distintos tipos de redes teniendo en cuenta sus características: Clasificación según su tipología o estructura de la red y clasificación según su algoritmo de aprendizaje.

2.10.1 CLASIFICACIÓN SEGÚN SU TIPOLOGÍA O ESTRUCTURA DE LA RED

Basados en el número de capas de las neuronas, las capas ocultas o visibles y la direccionalidad de las conexiones de las neuronas.

- *Red Monocapa (Perceptrón Simple)*: Es la red neuronal más simple, compuesta por una capa de neuronas que trasladan los datos de entrada a una capa de neuronas de salida y en esta se realiza los cálculos deseados.
- *Red Neuronal Multicapa (Perceptrón Multicapa)*: Es la generalización de una red neuronal monocapa, con la diferencia de que además de poseer una capa de entrada y de salida también posee una capa oculta.
- *Red Neuronal Profunda*: Es una red neuronal versátil ya que con ella se pueden procesar textos, imágenes pequeñas y datos numéricos.

Esta red neuronal presenta dentro de ella varias capas, hablamos de dos a más. Su funcionamiento se da cuando cada neurona de la capa de entrada se conecta con todas las neuronas de la siguiente capa hasta llegar a la capa de salida y así poder realizar tanto una regresión o una clasificación y eso depende de su función de activación y de los parámetros que le coloquemos a la red.

Tiene una limitante y es que hay tantas conexiones entre cada una de las capas que cuando hay tipo de datos sumamente grande se vuelve muy pesado computacionalmente para nuestro computador.

- *Red Neuronal Convolucional (CNN)*: Es una red de uso más fuerte y común para procesamiento de imágenes.

Dentro de su orden se tiene al igual que la red neuronal profunda capas de entrada y capas de salida, pero en las capas que están en medio se realizara convoluciones, lo que significa ir reduciendo el tamaño de la imagen mientras va avanzando en toda la estructura y en cada capa; así conforme va reduciendo el tamaño de la imagen va identificando los elementos más importantes y así teniendo un nivel de abstracción más elaborado mientras se acerca más a la capa de salida.

- *Red Neuronal Recurrente (RNN)*: Es una red neuronal que se usa para tipo de datos secuencial; por ejemplo el precio de una acción de una empresa pues, el valor de la acción que tiene hoy depende en gran parte del valor que tuvo anteriores días.

Tiene la misma estructura que las demás redes, pero dentro de sus capas ocultas tiene capas recurrentes (LSTM, Memoria corta a largo plazo), lo que hacen estas capas es recibir un dato, generan una estimación y la salida de las capas ocultas alimentan de nuevo a la capa oculta, esto ayuda a que la red tenga una noción de lo q sucedió antes.

- *Red de base Radial (RBF)*: Calcula la salida de la función en base de la distancia a un punto denominado centro. Es una combinación lineal de las funciones de activación radiales utilizadas por las RNA.

2.10.2 CLASIFICACIÓN SEGÚN SU ALGORITMO DE APRENDIZAJE

Según el cómo aprenden la red los patrones:

- *Aprendizaje supervisado*: Se caracteriza por el control en el proceso de aprendizaje pudiendo modificarse los pesos de las conexiones para obtener de ese modo la salida deseada. Esta se subdivide en: aprendizaje por corrección de error (ajusta las conexiones de

la red en función del error cometido) y aprendizaje estocástico (realiza cambios aleatorios sobre los pesos, quedándose con los cambios que mejoren sus resultados).

- *Aprendizaje no supervisado*: No necesita de una influencia externa para ajustar los pesos, interpreta sus datos en base de su estructura y algoritmo de aprendizaje empleado. Se subdivide en aprendizaje hebbiano (extrae las características de los datos de entrada) y aprendizaje competitivo y comparativo.
- *Aprendizaje por refuerzo*: Es un tipo de aprendizaje más lento que el aprendizaje por corrección de errores, este indica si el dato es aceptable o no para que de ese modo el algoritmo ajuste sus pesos basándose en mecanismos de probabilidades.

2.11 EL APRENDIZAJE AUTOMÁTICO DE UNA RED NEURONAL

El año de 1986 es recordado por marcar un precedente importante en la IA, ya que se publicó el artículo que cambiaría el destino de las redes neuronales, en este se desarrolló un modelo de *retropropagación* siendo este la base del aprendizaje profundo. Hasta en ese momento había una única neurona que podía considerarse como un tipo muy simple de red neuronal y de hecho esta unidad lógica es la precursora de las redes neuronales actuales, un tipo de red que se conocía desde los años 50 como *perceptron*.

En los primeros años de vida del perceptrón se creyó que este sería el algoritmo que resolvería una gran cantidad de problemas. Aunque pronto se hizo evidente algunas de sus importantes limitaciones ya que sólo es capaz de resolver problemas lineales, siendo necesario juntar más neuronas para poder abarcar problemas no lineales más complejos y aquí el problema, puesto que el algoritmo de aprendizaje automático que se venía utilizando para entrenar al perceptrón no era extensible para entrenar neuronas más complejas; es decir se querían redes neuronales, pero no se sabía cómo entrenarlas.

Fue tanta la persecución de este problema, que tras publicar el libro Perceptrons en 1969 de Marvin Minsky & Seymour Papert, donde se mostraba matemáticamente las importantes limitaciones del perceptrón, llevando consigo a un corte repentino en la financiación de los proyectos de IA, específicamente en aquellas relacionados con los sistemas de redes neuronales. Viviendo así un periodo de más de 15 años conocido como el invierno de la inteligencia artificial.

Después de un duro invierno se ve emerger nuevamente la investigación en la inteligencia artificial con la publicación de un trabajo que volvería a dar popularidad a RNA. Learning representations by back-propagating errors de David E. Rumelhart, Geoffrey E. Hinton & Ronald J. Williams y junto a otros avances de diferenciación automática mostraría experimentalmente que usando un nuevo algoritmo de aprendizaje se podría conseguir que una red neuronal autoajustara sus parámetros para así aprender una representación interna de la información que está procesando, el nombre de este algoritmo es BACKPROPAGATION pero para poder entenderlo es necesario saber qué es el DESCENSO DEL GRADIENTE.

2.11.1 DESCENSO DEL GRADIENTE

El Descenso del Gradiente es un algoritmo de optimización utilizado para minimizar algunas funciones, moviéndose iterativamente en la dirección del descenso más pronunciado según lo definido por el negativo del gradiente.

El aprendizaje automático es utilizado en el descenso de gradiente para actualizar los parámetros del modelo, estos se refieren a coeficientes en regresión lineal y pesos en redes neuronales.

2.11.1.1 EXPLICACIÓN DEL DESCENSO DEL GRADIENTE

Considerando el siguiente gráfico tridimensional en el contexto de una función de coste, nuestro objetivo es pasar de la montaña en la esquina superior derecha (alto costo) al mar azul oscuro en la parte inferior izquierda (bajo costo). Las flechas representan la dirección del descenso más pronunciado (gradiente negativo) desde cualquier punto dado.

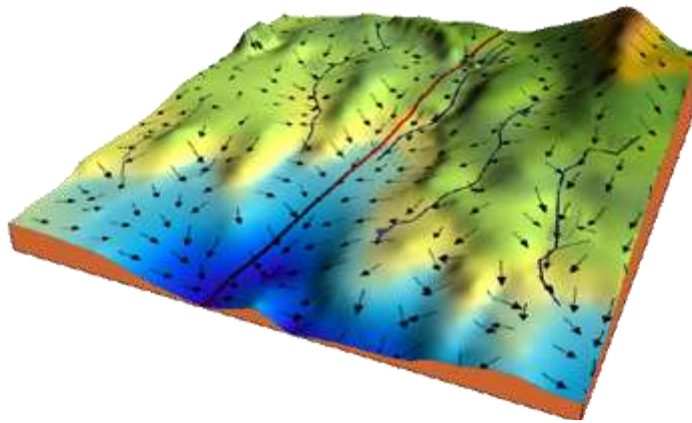


Ilustración 24 Descenso de Gradiente. Elaboración propia

Comenzando en la cima de la montaña, damos nuestro primer paso cuesta abajo en la dirección especificada por el gradiente negativo, a continuación, recalculamos el gradiente negativo (pasando las coordenadas de nuestro nuevo punto) y damos otro paso en la dirección que especifica. Extenderemos este proceso de forma iterativa hasta llegar al final de nuestro gráfico o hasta un punto donde ya no podemos movernos cuesta abajo, un mínimo local.

Considerando que hay dos parámetros en nuestra función de coste que podemos controlar: m (*peso*) y b (*parcialidad*), matemáticamente el descenso del gradiente se representa de la siguiente manera.

Siendo la función de costo:

$$f(m, b) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (y_i - (mx_i + b))^2$$

El gradiente se puede calcular como:

$$f'(m, b) = \begin{bmatrix} \frac{df}{dm} \\ \frac{df}{db} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{N} \sum -2x_i(y_i - (mx_i + b)) \\ \frac{1}{N} \sum -2(y_i - (mx_i + b)) \end{bmatrix}$$

Para resolver el gradiente, iteramos a través de nuestros puntos de datos utilizando nuestro nuevo m y b valores y calcular las derivadas parciales.

El descenso del gradiente es utilizado para optimizar nuestra función de coste haciendo uso de la técnica del backpropagation para calcular el vector de gradiente dentro de la complejidad de la arquitectura de la red neuronal.

2.11.2 BACKPROPAGATION

Se utiliza como un método para calcular las derivadas parciales de cada uno de los parámetros de una red con respecto al coste, debido a que es uno de las componentes que se necesita para luego optimizar a la red neuronal usando el algoritmo del descenso del gradiente.

El aprendizaje o la optimización por el cual se va a minimizar el coste de la RNA “*entrenamiento de la RNA*”, se realiza en base al algoritmo del descenso del gradiente, pero para que el algoritmo pueda funcionar necesita el vector gradiente (vector con las derivadas parciales de estos parámetros con respecto al coste) y esas derivadas parciales son dadas por el BACKPROPAGATION.

Matemáticamente, una red neuronal tiene sus parámetros inicializados de forma aleatoria significando que el resultado que se obtiene para un input cualquiera es aleatorio y cuando se compara con el valor real se tendrá un ERROR, dicho error se usará para entrenar a la red. Para ello responderemos a la pregunta ¿Cómo varía el coste ante un cambio del parámetro w?

$$\frac{\partial C}{\partial w}$$

Y si se recuerda existen dos variables en nuestra red neuronal: los pesos (w) y el sesgo

(b). Así tendremos la siguiente expresión:

$$\frac{\partial C}{\partial w} \quad \frac{\partial C}{\partial b}$$

Trabajando en una red neuronal, se hace recordar que las derivadas de la última capa, sus variables están sujetas a una composición de funciones:

$$C(a(Z^L)) = \text{ERROR}$$

Donde:

$Z^L = \text{Resultado de la suma ponderada}$

$a(Z^L) = \text{Función de activación}$

$c(a(Z^L)) = \text{Función de coste}$

Y para calcular la derivada de una composición de funciones se usará la *chain rules*, así multiplicaremos derivadas intermedias para cada variable:

$$\frac{\partial C}{\partial w^L} = \frac{\partial C}{\partial a^L} \cdot \frac{\partial a^L}{\partial Z^L} \cdot \frac{\partial Z^L}{\partial w^L}$$

$$\frac{\partial C}{\partial b^L} = \frac{\partial C}{\partial a^L} \cdot \frac{\partial a^L}{\partial Z^L} \cdot \frac{\partial Z^L}{\partial b^L}$$

Ahora se observa que:

$$\frac{\partial C}{\partial Z^L} = \frac{\partial C}{\partial a^L} \cdot \frac{\partial a^L}{\partial Z^L}$$

Lo que nos muestra esta derivada es el grado en que se modifica el error del coste cuando se produce un pequeño cambio en la suma ponderada de la neurona, si la derivada es grande entonces ante un pequeño cambio se verá reflejado en el resultado final, por el contrario, si

la derivada es pequeña no afectará mucho en su resultado. Por esta misma lógica será representado como el *error imputado a la neurona* y se representa con el siguiente símbolo:

$$\frac{\partial C}{\partial z^L} = \delta^L$$

Simplificando y reestructurando tendremos ahora que:

$$\frac{\partial C}{\partial w^L} = \delta^L \cdot \frac{\partial z^L}{\partial w^L} = \delta^L \cdot a_i^{L-1}$$

$$\frac{\partial C}{\partial b^L} = \delta^L \cdot \frac{\partial z^L}{\partial b^L} = \delta^L \cdot 1$$

Donde:

a_i^{L-1} : Error de las neuronas por la activación de la capa previa

Recordemos que la derivada de la suma ponderada respecto al bias es igual a 1 por ser una constante. Estos cálculos son realizados en la última capa.

En una capa anterior el procedimiento será el siguiente:

$$\frac{\partial C}{\partial w^{L-1}} = \frac{\partial C}{\partial a^L} \cdot \frac{\partial a^L}{\partial z^L} \cdot \frac{\partial z^L}{\partial a^{L-1}} \cdot \frac{\partial a^{L-1}}{\partial z^{L-1}} \cdot \frac{\partial z^{L-1}}{\partial w^{L-1}} = \delta^L \cdot W^L \cdot \text{DERIVADA DE F. ACTIVACION} \cdot a^{L-2}$$

$$\frac{\partial C}{\partial b^{L-1}} = \frac{\partial C}{\partial a^L} \cdot \frac{\partial a^L}{\partial z^L} \cdot \frac{\partial z^L}{\partial a^{L-1}} \cdot \frac{\partial a^{L-1}}{\partial z^{L-1}} \cdot \frac{\partial z^{L-1}}{\partial b^{L-1}} = \delta^L \cdot W^L \cdot \text{DERIVADA DE F. ACTIVACION} \cdot 1$$

Donde:

W^L : Matriz de parámetros que unen ambas capas

Esta forma es extensible a las demás capas y así sucesivamente recorriendo todas las capas de la red hasta el final y con esto se habrán recorrido todos los errores. Con backpropagation se deriva las expresiones para buscar las derivadas parciales, que se necesitan para poder usar el algoritmo del descenso del gradiente y así entrenar la red neuronal.

2.12 PYTHON

Python es un lenguaje de programación poderoso y fácil de aprender fue creado por Guido Van Rossum y distribuido como código abierto. Actualmente, Python Software Foundation (PSF) es la organización encargada de liderar su comunidad abierta de desarrolladores, fomentar el uso del lenguaje y desarrollarlo hacia una mejora constante.

La principal característica de Python es que posee una sintaxis que facilita la legibilidad del código, además es un lenguaje interpretado, multiparadigma, multiplataforma y de tipado fuerte. Por esta razón, es tan extendido y ventajoso el desarrollo de redes neuronales con Python.

Python cuenta con estructuras de datos eficientes de alto nivel y con un enfoque simple pero efectivo a la programación orientada a objetos. Su elegante sintaxis y su tipado dinámico junto con su naturaleza interpretada, hacen de este un lenguaje ideal para el desarrollo rápido de aplicaciones en diversas áreas y sobre la mayoría de las plataformas.

En los últimos años Python se ha vuelto popular debido a la cantidad de librerías que contiene, así como de sus funciones incorporadas las cuales ayudan a programar muchas tareas habituales sin necesidad de tener que programar desde cero; sencillez y velocidad en programación y sobre todo porque es gratuito incluso para propósitos empresariales.

El desarrollo de la IA, machine learning, deep learning y el surgimiento del big data ha revolucionado el panorama de la tecnología, produciendo una revolución en Python y es que muchas de las herramientas que han surgido han sido desarrolladas en Python. Pues la agilidad que aporta este lenguaje y la potencia de procesamiento de datos de las RNA hace que ambos elementos en conjunto sean la opción más eficaz y eficiente.

2.12.1 ENTORNO ANACONDA NAVIGATOR

Anaconda es una suite de código abierto que abarca una serie de aplicaciones, librerías y conceptos diseñados para el desarrollo de la Ciencia de datos con Python. En líneas generales Anaconda Distribution es una distribución de Python que funciona como un gestor de entorno y un gestor de paquetes.

Anaconda Distribution se agrupa en 4 sectores o soluciones tecnológicas: Anaconda Navigator, Anaconda Project, Las librerías de Ciencia de datos y Conda. Entre los paquetes más usados en el uso de RNA y minería de datos tenemos a Numpy, Scipy, Pandas, Scikit Learn.

2.12.1.1 JUPYTER NOTEBOOK

Jupyter Notebook es una interfaz web de código abierto que permite la inclusión de texto, video, audio, imágenes; así como la ejecución de código a través del navegador en múltiples lenguajes.

Su ejecución se realiza mediante la comunicación con un núcleo (Kernel) de cálculo. Esta versatilidad ha permitido una adopción creciente en muchos ámbitos y con ello el auge de las RNA.

2.12.2 LIBRERÍAS

Para poder programar una Red Neuronal Artificial se necesita realizar muchas operaciones y resolver derivadas, de ese modo se obtiene un modelo computacional. Pero si queremos realizar constantes cambios en nuestra red Neuronal, el código cambiaría hasta en altos niveles; sin embargo, Python nos ofrece una gran cantidad de librerías para el mejor desarrollo y manejo de los datos y con ello ya no es necesario programar desde cero. Ya

que existen diversas herramientas para poder hacer uso de algoritmos que nos facilitará la programación de redes neuronales, tales como: tensorFlow, Pytorch, Keras, SickitLearn.

2.12.2.1 LIBRERÍAS DE DIFERENCIACIÓN AUTOMÁTICA

En este nivel las librerías más representativas son **TENSORFLOW y PYTORCH**, estas se encargan de calcular automáticamente las derivadas parciales necesarias para optimizar cualquier arquitectura de la red que se diseñe.

Internamente para conseguir esta diferenciación automáticamente esta librería representa todas las operaciones que han de ejecutarse en la arquitectura como un **grafo computacional**.

La gran ventaja de poder trabajar con estas librerías es que si se quiere modificar algún aspecto de la arquitectura de la red solo se haría cambios en la primera parte del código y el resto del proceso de automatización y entrenamiento se computara automáticamente.

2.12.2.2 LIBRERÍAS DE COMPOSICIÓN POR CAPAS

En este nivel la librería más representativa es **KERAS**. Esta es una rama de Tensorflow e integrada como un módulo, lo que hace es unir las distintas operaciones y agruparlas como combinaciones de capas.

El código de Keras es mucho más compacto y orientada al prototipado rápido de arquitectura del deep learning.

2.12.2.3 LIBRERÍAS DE MODELOS COMPLETOS

En este nivel vemos a las redes neuronales como un todo, cuya arquitectura ya no es tan predefinida y que se puede controlar de manera limitada ajustando los hiperparámetros.

Las librerías más representativas son *sickit learn*. Es una biblioteca para aprendizaje automático de software libre que diseña y entrena redes neuronales de modelos complejos,

emplea algoritmos de clasificación, regresión y agrupamiento. Este aprendizaje está construido sobre SciPy (Scientific Python) e incluye las siguientes librerías o paquetes: NumPy, pandas, SciPy, matplotlib y SymPy para el manejo de datos.

La ventaja de Sickit Learn es la sencillez para probar otros tipos de modelos diferentes pues solo requiere cambiar una línea de código por el modelo que uno quiera y así mantener igual el resto de código.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 ELABORACIÓN Y CURADO DE ESPECÍMENES DE CONCRETO EN LABORATORIO

Este apartado se basa en la ASTM C192, la cual nos habla de la práctica estándar para elaborar y curar especímenes de prueba de concreto en el laboratorio teniendo un control preciso de los materiales y condiciones de prueba. Esta normativa fue empleada debido a que posee la misma naturaleza que nuestra investigación, la cual desarrolla información para las siguientes finalidades: dosificación de la mezcla de concreto del proyecto, evaluación de diferentes diseños de mezclas y materiales, proporcionar especímenes para fines de investigación.

Este documento nos detalla todos los componentes que debemos tener en cuenta para obtener información de calidad para nuestra investigación, dichos componentes son:

- Personal Técnico: El personal a cargo del laboratorio debe seguir los requisitos mínimos, deberes y responsabilidades especificados de la ASTM C1077.
- Moldes: Deben seguir las especificaciones ASTM C470. Estos deben ser de acero, hierro fundido u otro material no reactivo con el concreto. Además, se utilizó un sellador adecuado (grasa pesada, arcilla o cera microcristalina) para evitar fugas en las juntas. Los moldes fueron previstos de placas con un espesor mínimo de 25 mm

y contó con dos patas o pernos de aproximadamente de 25 mm que servirá para fijar firmemente la tapa. En nuestro caso se usaron moldes de acero, para la elaboración de cilindros estándar de 150mm x 300mm.

- Barra de amortiguación: Barra de acero lisa y recta. Con uno o ambos extremos redondeados a una punta hemisférica con el mismo diámetro de la varilla. La longitud de la varilla debe ser al menos de 100 mm mayor a la profundidad del molde, pero no mayor de 600 mm de longitud total.

Tabla 21

Requisitos de la barra compactadora

DIÁMETRO DE CILINDRO (mm)	DIÁMETRO (mm)
< 150	10±2
≥150	16±2

Fuente: N.T.P 339.033:2015

Tabla 22

Número de capas y apisonado por especímenes

DIÁMETRO DE CILINDRO (mm)	Nº CAPAS	Nº DE GOLPES POR CAPA
100	2	25
150	3	25
225	4	50

Fuente: N.T.P 339.033:2015

- Herramientas pequeñas: Artículos como paletas, regla, calibrador, cucharones, mazo de goma, guantes, etc.
- Cono de Abrams: Se midió el asentamiento siguiendo los apartados del punto 2.4.1. basados en la NTP 339.035:2009 (Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de cemento Portland).
- Cacerola de muestreo: De fondo plano, metálico y de capacidad suficiente para elaborar las mezclas.

- Mezclador de concreto: Un mezclador motorizado con un tambor giratorio posee una cacerola con capacidad apropiada para realizar adecuadamente las mezclas diseñadas.

3.1.1 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- Temperatura: Los materiales usados en la mezcla estuvieron a temperatura ambiente en el rango de 20 a 30 °C.
- Cemento: El cemento fue colocado en un lugar seco, alejado de la humedad.
- Agregados: Se pesó las fracciones individuales del agregado por separado y se recombinó según los requerimientos. Además, se determinó previamente la gravedad específica, contenido de humedad y la absorción de los agregados, para ser usados en el diseño.

3.1.2 PROCEDIMIENTO DE REALIZACIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS

Las mezclas se realizaron con ayuda de un mezclador de concreto eléctrico tipo trompo, modelo MR120C cuya marca es Dynamic, volumen del tambor 100 Litros (3.5 ft³), potencia 0.5Hp, peso 66 Kg.

El procedimiento realizado para obtener un concreto de calidad fue el siguiente: mezclar los agregados junto al cemento y agua según lo especificado en el diseño de mezcla durante 3 minutos, seguido de 3 minutos de reposo y por último un mezclado final de 2 minutos. Se cubrió la parte superior del mezclador para evitar la evaporación durante el reposo del trompo.

Se procedió a poner la mezcla en los moldes haciendo uso de cucharones y con ayuda de la barra de apisonamiento se ayudó a distribuir uniformemente el concreto por capas, para luego ser consolidado (proceso de compactación del concreto fresco) según lo especificado en la Tabla 22. Luego de varillar cada capa se procede a golpear

ligeramente (10 a 15 veces) la parte exterior del molde haciendo uso de un mazo de goma, de este modo se cerró los agujeros dejados en la consolidación y para liberar cualquier burbuja de aire que pudo haber quedado atrapado.

Finalmente se aniveló la superficie del espécimen con la barra compactadora, para que quede una superficie plana nivelada respecto al borde y no tenga depresiones o salientes mayores a 3 mm. Se realizaron los especímenes lo más cerca posible de donde se almacenaron las primeras 24 horas. El lugar de almacenamiento estuvo sobre una superficie lisa y libre de vibraciones.

3.1.3 CURADO

El curado es el nombre que se da a los procedimientos empleados para promover la hidratación del concreto, para que este logre el desarrollo de su resistencia requerida.

- Curado inicial: Los especímenes se almacenaron inmediatamente después de haber realizado el acabado hasta que fueron retirados de los moldes después de 24 ± 8 horas del vaciado.
- Ambiente de curado: Es un ambiente húmedo a 23 ± 2 °C desde el retiro de los moldes hasta el momento de la prueba. El almacenamiento durante las primeras 48 horas de curado se realizó en un ambiente sin vibraciones. En el curado las muestras deben tener agua libre en toda la superficie, esta condición se cumple haciendo uso de tanques de almacenamiento de agua.

3.1.4 PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO

3.1.4.1 ESTADO FRESCO:

3.1.4.1.1 PESO UNITARIO (NTP 339.046)

El peso unitario del concreto consiste en determinar la masa neta del concreto sobre el volumen del molde, producido a partir de un diseño de mezcla con cantidades conocidas de los materiales; con el fin de verificar su rendimiento.

Para determinar el peso unitario se aplica la siguiente fórmula:

$$D = \frac{M_c - M_m}{V_m}$$

Donde:

M_c =Masa neta del hormigón

M_m =Masa del recipiente de medida

V_m =Volumen de medida

3.1.4.1.2 ASENTAMIENTO O REVENDIMIENTO (NTP 339.035:2009)

El asentamiento del concreto está relacionado directamente con el contenido de agua, pero relacionado inversamente con la resistencia del concreto. Esta propiedad y su procedimiento fueron descritos en el capítulo II, punto 2.4.1.

3.1.4.2 ESTADO ENDURECIDO:

3.1.4.2.1 CURADO DEL CONCRETO (ASTM C192)

Basado según la ASTM C192, es el procedimiento empleado para promover la hidratación del cemento y desarrollar la resistencia del concreto.

3.1.4.2.2 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (NTP 339.034:2008)

Ensayo que tuvo como finalidad la aplicación de una carga a compresión axial a los cilindros moldeados, a una velocidad normalizada mientras ocurría una falla. La

compresión de la probeta es obtenida de la división de la carga máxima entre el área de la sección recta de la probeta.

$$f'c = \frac{4G}{\pi x D^2}$$

Donde:

$f'c$ = Resistencia a la compresión del concreto kg/cm²

G= Carga de rotura Kg

D= Diámetro de la probeta cilíndrica

Los resultados obtenidos de la resistencia a la compresión y el control de calidad del concreto fresco se encuentran detallados en el Anexo E.

3.2 CRITERIO EMPLEADO POR EL RNE Y ACI 318 PARA LA ACEPTACIÓN DEL CONCRETO

En la norma E-060 del RNE, Capítulo 5- Calidad del Concreto, Mezclado y Colocación, ha asumido los siguientes criterios para el caso de la compresión del concreto, los cuales se basan en el ACI 318 acápite 5.6.3.3, en donde se establece que la resistencia de una clase determinada de concreto se considera satisfactoria si cumple con los siguientes requisitos:

- a) Cada promedio aritmético de tres ensayos de resistencia consecutivos es igual o superior a $f'c$.
- b) Ningún resultado individual del ensayo de resistencia (promedio de dos cilindros) es menor que $f'c$ en más de 3,5 MPa cuando $f'c$ es 35MPa o menor, o en más de $0.1f'c$ cuando $f'c$ es mayor a 35 MPa.

Además, en el acápite 5.6.2.4 del ACI 318 se considera como un ensayo de resistencia al promedio de las resistencias de dos probetas cilíndricas hechas de la misma muestra de

concreto y ensayadas a los 28 días o a la edad de ensayo establecida para la determinación de f'_c .

3.3 DISEÑO DE LAS REDES NEURONALES ARTIFICIALES EN PYTHON

3.3.1 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Para poder desarrollar nuestra RNA se modeló nuestra red a partir de un conjunto de variables y observamos que las variables que influyen en un diseño de mezcla son:

- Módulo de finura de arena
- Peso específico de la arena
- Módulo de finura de la piedra
- Peso específico de la piedra
- Tamaño máximo nominal
- Cantidad de agua
- Cantidad de arena
- Cantidad de piedra
- Cantidad de cemento
- Edad de ensayo

Sin embargo, se seleccionaron las características (features) que contribuyen más a la variable de salida respecto a la creación de una red neuronal; con la finalidad de reducir sobreajustes, mejorar la precisión y reducir el tiempo de entrenamiento. Por eso se hizo uso de la correlación, de ese modo se observó que las variables más independientes son:

- Cantidad de agua
- Cantidad de cemento
- Cantidad de arena

- Cantidad de piedra
- Edad de ensayo

Siendo la **resistencia a la compresión la variable dependiente** durante esta investigación.

Para modelar nuestra red hemos utilizado las siguientes consideraciones:

- Para la modelización del ensayo de la resistencia a la compresión del concreto se ha utilizado una RNA de tipo multicapa, pues sus funciones hacen que las redes seleccionadas sean más adecuadas para modelizar resultados cuantitativos.
- Como función de transferencia se ha optado por utilizar la función RELU, ya que en este tipo de RNA nuestros datos estiman un nivel de confiabilidad mayor a comparación de los otros.
- La RNA realizó un aprendizaje supervisado ya que utilizó datos cuantitativos que al entrenar podrá producir datos que encontraron conocimiento a partir de otros datos.
- Para el entrenamiento de la red se ha utilizado el algoritmo BACKPROPAGATION, el cual mejora los resultados del aprendizaje a partir de encontrar el error más bajo y así poder aprender de ellos, se persuadió el sobreentrenamiento haciendo uso de 10000 ciclos como máximo en su entrenamiento y así se evitó el underfitting y overfitting.

3.3.2 DATOS

Se hizo uso de 294 datos de la resistencia a la compresión del concreto a partir del método de la RECOLECCIÓN DE DATOS CUANTITATIVOS, luego paso por el

método de la NORMALIZACIÓN donde se hizo una inspección cuantitativa y se vio la salud de estos, con el fin de eliminar outliers de la muestra (5) y hacer uso de ellos.

A tal fin, se ha hecho uso de un conjunto inicial de datos que fue dividido en tres grupos elegidos aleatoriamente y sin repetición:

- Entrenamiento y validación: 235 datos
- Comprobación: 54 datos

Los dos primeros conjuntos se utilizaron en el proceso de desarrollo de la red, el tercer conjunto es de comprobación. Este último grupo se utilizó para evaluar el grado de generalización de la red evitando así cualquier tipo de sesgo introducido por los conjuntos de entrenamiento y validación.

3.3.3 LIBRERÍAS EN PYTHON

- Numpy: Es el paquete fundamental para la computación científica con Python. Sirve para cálculo numérico, operaciones con arrays (MATRICES), álgebra lineal útil, transformada de Fourier y cuenta con capacidades de números aleatorios.

Este paquete ayudó a poder realizar diferentes operaciones entre features y datos que presenta nuestra red.

- Pandas: Es una herramienta de análisis y manipulación de datos de código abierto, rápido, potente, flexible y fácil de usar.

Con este paquete importamos nuestros datos desde un archivo con extensión csv y así poder manipularlo para su respectivo uso.

- Matplotlib: Es una biblioteca completa para crear visualizaciones estáticas, animadas e interactivas en Python, con ello se busca representar de una forma gráfica nuestros datos.

- Scikit Learn: Con esta herramienta se busca realizar la red neuronal artificial manipulando los datos de una manera simple y eficiente para el análisis predictivo de los datos.

sklearn.model_selection.train_test_split: Dividió en trenes aleatorios los datos de entrenamiento y validación. `X_ent, X_test, y_ent, y_test=train_test_split(X,y)`

from sklearn.neural_network import MLPRegressor: Se realizó una red de regresión y así se predijo un atributo de valor continuo asociado con un objeto. Con este modelo se optimiza el descenso del gradiente, ajustando parámetros podemos realizar cambios en nuestra red sin romper la estructura de nuestro código.

(hidden_layer_sizes = (100 ,) , activación = 'relu' , solver = 'adam' , alpha = 0.0001 , batch_size = 'auto' , learning_rate = 'constant' , learning_rate_init = 0.001 , power_t = 0.5 , max_iter = 200 , shuffle = Verdadero , random_state = Ninguno , tol = 0.0001 , detallado = False , warm_start = False , momentum = 0.9 , nesterovs_momentum = True , early_stopping = False , validation_fraction = 0.1 , beta_1 = 0.9 , beta_2 = 0.999 , epsilon = 1e-08 , n_iter_no_change = 10 , max_fun = 15000)

3.3.4 EVALUACIÓN DE RESULTADOS

Para evaluar el resultado final se utilizó el coeficiente de correlación (R) es una medida de dependencia lineal entre dos variables aleatorias cuantitativas, el coeficiente de determinación (R^2) muestra cómo se ajusta el modelo a la variable que pretende ajustar y la raíz del error cuadrático medio (RMSE) indica la cantidad de error entre el valor estimado y el observado o conocido entre los resultados de la red, los reales y el tiempo empleado en su desarrollo.

Así mismo se comprobó con diferente tipo de estructuras de redes neuronales artificiales cual es más eficiente y que neurona se acopla más a nuestros datos para la determinación de resistencia a la compresión del concreto basándonos en underfitting y overfitting.

CAPÍTULO IV

PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

En la presente sección se muestran los resultados obtenidos de la aplicación de la base teórica y metodología usada, los cuales se encuentran expresados en el Capítulo II y III respectivamente. Los resultados derivados del ensayo de la resistencia a la compresión del concreto fueron analizados para identificar si en caso existía un porcentaje representativo de outliers (datos atípicos cuyas observaciones son significativamente diferentes al resto de los datos) de nuestra muestra total, si ese fuera el caso se deberá pasar por un proceso de imputación, caso contrario que no exista una cantidad representativa de outliers que afecten a nuestra muestra sólo serán eliminados.

4.1.1 MUESTRA PARA UNA POBLACIÓN DESCONOCIDA

Una población es un conjunto de elementos que contienen una o más características observables de naturaleza cualitativa o cuantitativa que se pueden medir. En cambio, una muestra es una parte de la población seleccionada de acuerdo con un plan o regla, cuya finalidad es obtener información acerca de la población de la cual proviene. En nuestro caso para obtener el tamaño de nuestra muestra a utilizar se hizo uso de la siguiente formula, la cual es manipulada para determinar el tamaño de la muestra de una Población Infinita.

$$n_{opt.} = \frac{Z^2 \sigma^2}{E^2}$$

Donde:

Z= Grado de confiabilidad

E= Error asumido en el cálculo.

σ^2 = Varianza de la Población

El grado de confiabilidad es la probabilidad de que la estimación efectuada se ajuste a la realidad, captando el valor verdadero del parámetro a medir. En nuestro estudio se tomó un nivel de confianza de 95% ($Z=1.96$), siendo este valor el más empleado para la determinación de muestras con poblaciones desconocidas.

El error asumido, siempre se comete ya que al escoger los elementos de la muestra existirá pérdida de representatividad. Este valor es asumido por el investigador, debe guardar una coherencia con el nivel de confianza que se ha asumido.

Desviación estándar, indica la dispersión de un conjunto de datos. En nuestro caso se tomó el valor de 13.256 Kg/cm² para un grado de control de calidad excelente (<1.4 MPa), dicho dato se ha tomado teniendo como base las tablas de estándares de control para lotes de prueba de laboratorio, proporcionados por Guide to Evaluation of Strength Test Results of Concrete, ACI 214R-11 (2011). Remplazamos los datos en la expresión antes mencionada:

Tabla 23

Determinación de una muestra con una población desconocida

RESISTENCIA	Z	σ	E 10% f'c	N (Para una edad)	N (Para tres edades)
F'C =175 Kg/cm ²	1.96	13.256 Kg/cm ²	17.5	3	9
F'C =210 Kg/cm ²	1.96	13.256 Kg/cm ²	21	2	6
F'C =250 Kg/cm ²	1.96	13.256 Kg/cm ²	25	2	6
F'C =280 Kg/cm ²	1.96	13.256 Kg/cm ²	28	1	3
F'C =310 Kg/cm ²	1.96	13.256 Kg/cm ²	31	1	3

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 23 podemos apreciar que la cantidad mínima de ensayos a realizar para los 5 diseños de mezclas son de 27 probetas; pero con la finalidad de obtener una base de datos amplia para alimentar a la Red Neuronal se optó por realizar 294 probetas de 6" x 12" (150 mm x 300 mm) los cuales serán sometidos al ensayo de compresión del concreto.

Los datos que servirán para la validación de la Red Neuronal Artificial son 240 y los 54 resultados restantes son usados para la contrastación de resultados.

Tabla 24

Número de ensayos por edad realizados

RESISTENCIA	EDAD DE ENSAYO			SUB TOTAL
	7 días	14 días	28 días	
175 kg/cm ²	16	16	16	48
210 kg/cm ²	16	16	16	48
250 kg/cm ²	16	16	16	48
280 kg/cm ²	16	16	16	48
300 kg/cm ²	16	16	16	48
TOTAL DE PROBETAS				240

Fuente: Elaboración propia

4.1.2 ANÁLISIS DE DATOS

4.1.2.1 DISEÑO DE MEZCLA Y RESULTADOS DEL ENSAYO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO

Para realizar los diseños de mezcla propuestos se ha planteado las siguientes dosificaciones, las cuales están detallados en el Anexo C:

Tabla 25

Diseño de mezclas según dosificación

RESISTENCIA	DOSIFICACION EN PESO	TANDA
F'C= 175 Kg/cm ²	1:2.16:3.15:28.54 lt/saco	A: 3.081 lt
		C: 4.5920 Kg
		AG: 14.4836 Kg
		AF: 9.9071 Kg
		A: 3.070 lt
F'C= 210 Kg/cm ²	1:1.57:2.52:22.73 lt/saco	C: 5.74 Kg
		AG: 14.4836 Kg
		AF: 8.9861 Kg
		A: 3.070 lt
		C: 5.74 Kg
F'C= 250 Kg/cm ²	1:1.57:2.52:22.73 lt/saco	AG: 14.4836 Kg
		AF: 8.9861 Kg
		A: 3.066 lt
		C: 6.216 Kg
		AG: 14.4836 Kg
F'C= 280 Kg/cm ²	1:1.39:2.33:20.98 lt/saco	AF: 8.6107 Kg

		A: 3.062 lt
		C: 6.6360 Kg
F'C= 310 Kg/cm ²	1:1.25:2.18:19.62 lt/saco	AG: 14.4836 Kg
		AF: 8.2736 Kg

Fuente: Elaboración propia

En la presente investigación se tuvo en cuenta los procedimientos establecidos desde el estudio de los componentes del concreto, elaboración y criterios de aceptación señalados en las Normativas Técnicas Peruanas para los diferentes ensayos que se realizaron, pero además se debe tener en cuenta que los resultados obtenidos del ensayo de la resistencia a la compresión, están sujetas a otro tipo de variaciones tales como a la variación en las propiedades del concreto tales como el cambio de relación a/c, falta de uniformidad en la granulometría de los áridos, variaciones en las características de los áridos, variaciones en las características del cemento, y variaciones debido a discrepancias en los métodos de ensayo tales como toma de muestras de manera inadecuada, falta de uniformidad en los métodos para confeccionar probetas, cambios en condiciones de curado, etc.

4.1.2.2 DATOS ANÓMALOS

Los datos deben pasar por un tratamiento inicial antes de ser utilizados en la red. Existen técnicas para determinar si existen datos anómalos en nuestros resultados obtenidos, tales como el Método de Grubbs y el Método de Dixon.

Para este estudio se hizo uso del método de Grubbs, siendo este criterio el más habitual en el estudio de series estadísticas. Este método sirve para la detección de outliers, datos que salen fuera de la muestra, consiste en la diferencia absoluta entre el valor sospechoso de ser atípico (X_0) y el promedio de la muestra (\bar{X}) y finalmente se divide por la desviación estándar (σ).

$$G_{\text{calculado}} = \frac{(X_0 - \bar{X})}{\sigma}$$

Siendo:

X_i = Valor a evaluar si es atípico

\bar{X} = Promedio de la muestra

σ = Desviación estándar

Los datos serán correctos si el $G_{\text{tabla}} > G_{\text{calculado}}$, caso contrario el dato será atípico. Estos datos atípicos serán eliminados para que no afecten a la muestra y generen un comportamiento irregular.

A continuación, se muestran los resultados que se obtuvieron de su análisis tales como el promedio, desviación estándar y el valor de Grubbs de las tablas, los cuales han sido obtenidos del artículo firmado por Grubbs, F.& Beck, G. (1972). Extension of Sample Sizes and Percentage Points for Significance Tests of Outlying Observations. *Technometrics*, 14(4), Pág. 847-854. Estos últimos valores serán comparados con el valor Grubbs calculados, de ese modo se pudo determinar si poseíamos datos anómalos.

Tabla 26

Preparación de datos para ser usados en el Método de Grubbs

TEST DE GRUBBS CON 95% DE CONFIANZA				
F' C, DÍAS	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	Nº DATOS	G TABLA
175 kg/cm ² , 7 días	140.56 Kg/cm ²	15.80 Kg/cm ²	17	2.475
175 kg/cm ² , 14 días	182.28 Kg/cm ²	7.04 Kg/cm ²	16	2.443
175 kg/cm ² , 28 días	214.94 Kg/cm ²	6.79 Kg/cm ²	15	2.409
210 kg/cm ² , 7 días	195.41 Kg/cm ²	13.98 Kg/cm ²	16	2.443
210 kg/cm ² , 14 días	231.84 Kg/cm ²	14.85 Kg/cm ²	16	2.443
210 kg/cm ² , 28 días	264.99 Kg/cm ²	10.26 Kg/cm ²	16	2.443
250 kg/cm ² , 7 días	191.85 Kg/cm ²	8.73 Kg/cm ²	16	2.443
250 kg/cm ² , 14 días	227.33 Kg/cm ²	11.96 Kg/cm ²	16	2.443
250 kg/cm ² , 28 días	253.59 Kg/cm ²	10.29 Kg/cm ²	16	2.443

280 kg/cm ² ,7 días	217.42 Kg/cm ²	14.19 Kg/cm ²	16	2.443
280 kg/cm ² ,14 días	250.49 Kg/cm ²	8.75 Kg/cm ²	16	2.443
280 kg/cm ² ,28 días	286.21 Kg/cm ²	12.96 Kg/cm ²	16	2.443
310 kg/cm ² ,7 días	212.37 Kg/cm ²	7.27 Kg/cm ²	16	2.443
310 kg/cm ² ,14 días	270.12 Kg/cm ²	8.83 Kg/cm ²	16	2.443
310 kg/cm ² ,28 días	310.71 Kg/cm ²	4.84 Kg/cm ²	16	2.443

Fuente: Elaboración propia

Los datos observados en la Tabla 26 fueron utilizados para determinar el valor de Grubbs aplicando la formula $\frac{(X_i - \bar{X})}{\sigma}$. Los resultados y su cálculo se encuentran detallados en el Anexo F, donde se puede apreciar que se detectaron 5 datos anómalos los cuales fueron eliminados ya que no son una cantidad representativa que afecten a nuestra muestra, luego se volvieron a procesar nuevamente los datos con la finalidad de verificar que estos posean un comportamiento dentro de su distribución normal. Formando de ese modo la base de datos utilizada en la red neuronal, las cuales se encuentran expresadas en las tablas del Anexo F-3.

4.1.2.3 ESTADÍSTICA DE DATOS

4.1.2.3.1 MEDIDAS DE POSICIÓN

Estas medidas reflejan la tendencia central (promedios) y localización de los datos. La tendencia central ubica el centro de los datos y las medidas de localización indican los datos más frecuentes (moda) o menos frecuentes.

- MEDIANA (M_e): Es la medida promedio que depende del número de datos ordenados en forma creciente o decreciente y no de los valores de estos.

$$Me = \begin{cases} X_{(\frac{n+1}{2})}; n \text{ impar} \\ \frac{X_{(\frac{n}{2})} + X_{(\frac{n}{2}+1)}}{2}; n \text{ par} \end{cases}$$

- MEDIA ARITMÉTICA (\bar{X}): O también llamada media, es la suma de los valores observados de la variable y dividido por el número de observaciones.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \qquad \bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + \dots + X_n}{n}$$

- MODA (M_o): Se define como el dato que más veces se repite. Este indica el valor más común de una serie de datos, por ello es el promedio menos importante debido a su ambigüedad.

Tabla 27

Medidas de posición de datos obtenidos en ensayos de resistencia a la compresión del concreto

RESISTENCIAS	DÍAS	MEDIA	MODA	MEDIANA
175 Kg/cm ²	7 DÍAS	140.91 Kg/cm ²		142.18 Kg/cm ²
	14 DÍAS	182.28 Kg/cm ²		181.97 Kg/cm ²
	28 DÍAS	215.00 Kg/cm ²	210.79 Kg/cm ²	214.33 Kg/cm ²
210 Kg/cm ²	7 DÍAS	195.41 Kg/cm ²		195.76 Kg/cm ²
	14 DÍAS	231.84 Kg/cm ²	238.38 Kg/cm ²	235.90 Kg/cm ²
	28 DÍAS	264.99 Kg/cm ²	264.55 Kg/cm ²	265.96 Kg/cm ²
250 Kg/cm ²	7 DÍAS	191.85 Kg/cm ²	188.86 Kg/cm ²	188.44 Kg/cm ²
	14 DÍAS	227.33 Kg/cm ²		226.71 Kg/cm ²
	28 DÍAS	250.17 Kg/cm ²	248.28 Kg/cm ²	248.99 Kg/cm ²
280 Kg/cm ²	7 DÍAS	217.42 Kg/cm ²		217.86 Kg/cm ²
	14 DÍAS	250.49 Kg/cm ²		249.87 Kg/cm ²

	28 DÍAS	284.66 Kg/cm ²	281.53 Kg/cm ²	281.53 Kg/cm ²
	7 DÍAS	210.87 Kg/cm ²		210.79 Kg/cm ²
310 Kg/cm ²	14 DÍAS	267.99 Kg/cm ²	269.50 Kg/cm ²	269.50 Kg/cm ²
	28 DÍAS	310.71 Kg/cm ²	311.94 Kg/cm ²	310.17 Kg/cm ²

Fuente: Elaboración propia

Si moda < mediana < media La distribución es asimétrica hacia la derecha
Si moda > mediana > media La distribución es asimétrica hacia la izquierda
Si moda = mediana = media La distribución es simétrica

De los promedios obtenidos, la media aritmética es el más usado por su mejor tratamiento estadístico, pero no siempre es un buen promedio y si la distribución tiene una acentuada asimetría entonces la mediana es la medida promedio más representativa.

4.1.2.3.2 MEDIDAS DE DISPERSIÓN

Las medidas de tendencia central no son suficientes para describir variables estadísticas de un conjunto de datos. La medida de dispersión mide el grado de separación de los datos respecto a un valor central. Las principales medidas de dispersión son:

- **VARIANZA:** Cuantifica el grado de dispersión de los valores de una variable respecto a su media aritmética. Si la varianza es pequeña, los valores tienden a concentrarse alrededor de la media. La varianza de una población se denotará σ^2 y de una muestra S^2 .

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}$$

- **DESVIACIÓN ESTÁNDAR:** Es la raíz cuadrada positiva de la varianza.

- RANGO DE UNA VARIABLE (R): Es el rango de variación máximo y mínimo de una serie de datos. Su uso es muy limitado, debido a su inestabilidad ya que su valor depende de los valores extremos.

$$R = \max (x_1) - \min (x_1)$$

- COEFICIENTE DE VARIACIÓN: Compara la variabilidad de dos o más serie de datos que tengan medias iguales o diferentes.

$$CV = \frac{s}{\bar{x}}$$

Tabla 28

Medidas de dispersión de datos obtenidos en ensayos de resistencia a la compresión del concreto

RESISTENCIA	DÍAS	VARIANZA	DESVIACION	COEF. VARIACIÓN	RANGO
175 Kg/cm ²	7	147.181	12.13 Kg/cm ²	8.61 %	32.54 Kg/cm ²
	14	39.275	6.27 Kg/cm ²	3.44 %	19.10 Kg/cm ²
	28	12.405	3.52 Kg/cm ²	1.64 %	9.20 Kg/cm ²
210 Kg/cm ²	7	115.188	10.73 Kg/cm ²	5.49 %	28.29 Kg/cm ²
	14	40.278	6.35 Kg/cm ²	2.74 %	16.98 Kg/cm ²
	28	68.039	8.25 Kg/cm ²	3.11 %	26.17 Kg/cm ²
250 Kg/cm ²	7	61.159	7.82 Kg/cm ²	4.08 %	21.93 Kg/cm ²
	14	127.509	11.29 Kg/cm ²	4.97 %	35.37 Kg/cm ²
	28	17.946	4.24 Kg/cm ²	1.69 %	12.03 Kg/cm ²
280 Kg/cm ²	7	115.536	10.75 Kg/cm ²	4.94 %	31.83 Kg/cm ²
	14	28.618	5.35 Kg/cm ²	2.14 %	16.27 Kg/cm ²
	28	77.697	8.81 Kg/cm ²	3.10 %	24.05 Kg/cm ²
310 Kg/cm ²	7	22.031	4.69 Kg/cm ²	2.23 %	13.09 Kg/cm ²

14	27.757	5.27 Kg/cm ²	1.97 %	15.56 Kg/cm ²
28	9.399	3.07 Kg/cm ²	0.99 %	9.90 Kg/cm ²

Fuente: Elaboración propia

Los cálculos de la Tabla 27 y Tabla 28 están detallados en el Anexo G.

4.1.2.3.3 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS ESTADÍSTICOS

De la Tabla 27 y Tabla 28 se pueden extraer las siguientes interpretaciones las cuales han sido agrupadas por dosificaciones y edades:

- **F'C= 175 Kg/cm²**

El promedio de las resistencias a la compresión del concreto, cuyo diseño es de $f'_c=175$ kg/cm² con 7 días de edad es de 140.91 Kg/cm², con una desviación de 12.13 Kg/cm².

La mitad de las muestras tuvieron una resistencia menor de 142.178 Kg/cm² en el ensayo de dicha resistencia a los 7 días de edad. Teniendo como resistencia mínima 123.787 Kg/cm² y máxima 156.325 Kg/cm².

El promedio de las resistencias a la compresión del concreto, cuyo diseño es de $f'_c=175$ kg/cm² con 14 días de edad es de 182.28Kg/cm², con una desviación de 6.27 Kg/cm².

La mitad de las muestras tuvieron una resistencia menor de 181.967 Kg/cm² en el ensayo de dicha resistencia a los 14 días de edad. Teniendo como resistencia mínima 171.887 Kg/cm² y máxima 190.985 Kg/cm².

El promedio de las resistencias a la compresión del concreto, cuyo diseño es de $f'_c=175$ kg/cm² con 28 días de edad es de 215.00 Kg/cm², con una desviación de 3.52 Kg/cm² y un coeficiente de variación de 1.64% estos valores representan que posee un excelente grado de control de calidad en su desviación estándar y coeficiente de variación respectivamente según el comité ACI 214R -11. La mitad de las muestras tuvieron una resistencia menor de 214.328 Kg/cm² y 210.79 Kg/cm² fue la resistencia más frecuente

en el ensayo de dicha resistencia a los 28 días de edad. Teniendo como resistencia mínima 210.791 Kg/cm² y máxima 219.987 Kg/cm².

- F'C= 210 Kg/cm²

El promedio de las resistencias a la compresión del concreto, cuyo diseño es de f'c=210 Kg/cm² con 7 días de edad es de 195.41 Kg/cm², con una desviación de 10.73 Kg/cm².

La mitad de las muestras tuvieron una resistencia menor de 195.76 Kg/cm² en el ensayo de dicha resistencia a los 7 días de edad. Teniendo como resistencia mínima 180.022 Kg/cm² y máxima 208.316 Kg/cm².

El promedio de las resistencias a la compresión del concreto, cuyo diseño es de f'c=210 Kg/cm² con 14 días de edad es de 231.84 Kg/cm², con una desviación de 6.35 Kg/cm².

La mitad de las muestras tuvieron una resistencia menor de 235.90 Kg/cm² y 238.38 Kg/cm² fue la resistencia más frecuente en el ensayo de dicha resistencia a los 14 días de edad. Teniendo como resistencia mínima 221.402 Kg/cm² y máxima 238.378 Kg/cm².

El promedio de las resistencias a la compresión del concreto, cuyo diseño es de f'c=210 Kg/cm² con 28 días de edad es de 264.99 Kg/cm², con una desviación de 8.25 Kg/cm² y un coeficiente de variación de 3.11 % estos valores representan que posee un excelente y un buen grado de control de calidad en su desviación estándar y coeficiente de variación respectivamente según el comité ACI 214R -11. La mitad de las muestras tuvieron una resistencia menor de 265.965 Kg/cm² y 264.55 Kg/cm² fue la resistencia más frecuente en el ensayo de dicha resistencia a los 28 días de edad. Teniendo como resistencia mínima 248.988 Kg/cm² y máxima 275.161 Kg/cm².

- F'C= 250 Kg/cm²

El promedio de las resistencias a la compresión del concreto, cuyo diseño es de f'c=250 Kg/cm² con 7 días de edad es de 191.85 Kg/cm², con una desviación de 7.82 Kg/cm². La

mitad de las muestras tuvieron una resistencia menor de 188.44 Kg/cm² y 188.86 Kg/cm² fue la resistencia más frecuente en el ensayo de dicha resistencia a los 7 días de edad. Teniendo como resistencia mínima 186.741 Kg/cm² y máxima 208.669 Kg/cm².

El promedio de las resistencias a la compresión del concreto, cuyo diseño es de $f'_c=250$ Kg/cm² con 14 días de edad es de 227.326 Kg/cm², con una desviación de 11.29 Kg/cm².

La mitad de las muestras tuvieron una resistencia menor de 226.707 Kg/cm² en el ensayo de dicha resistencia a los 14 días de edad. Teniendo como resistencia mínima 215.036 Kg/cm² y máxima 250.403 Kg/cm².

El promedio de las resistencias a la compresión del concreto, cuyo diseño es de $f'_c=250$ Kg/cm² con 28 días de edad es de 250.17 Kg/cm², con una desviación de 4.24 Kg/cm² y un coeficiente de variación de 1.69 % estos valores representan que posee un excelente grado de control de calidad en su desviación estándar y coeficiente de variación según el comité ACI 214R -11. La mitad de las muestras tuvieron una resistencia menor de 248.99 Kg/cm² y 248.28 Kg/cm² fue la resistencia más frecuente en el ensayo de dicha resistencia a los 28 días de edad. Teniendo como resistencia mínima 244.744 Kg/cm² y máxima 256.769 Kg/cm².

- $F'_C= 280$ Kg/cm²

El promedio de las resistencias a la compresión del concreto, cuyo diseño es de $f'_c=280$ Kg/cm² con 7 días de edad es de 217.42 Kg/cm², con una desviación de 10.75 Kg/cm².

La mitad de las muestras tuvieron una resistencia menor de 217.865 Kg/cm² en el ensayo de dicha resistencia a los 7 días de edad. Teniendo como resistencia mínima 199.474 Kg/cm² y máxima 231.305 Kg/cm².

El promedio de las resistencias a la compresión del concreto, cuyo diseño es de $f'_c=280$ Kg/cm² con 14 días de edad es de 250.49 Kg/cm², con una desviación de 5.35 Kg/cm².

La mitad de las muestras tuvieron una resistencia menor de 249.87 Kg/cm² en el ensayo de dicha resistencia a los 14 días de edad. Teniendo como resistencia mínima 241.915 Kg/cm² y máxima 258.184 Kg/cm².

El promedio de las resistencias a la compresión del concreto, cuyo diseño es de $f'_c=280$ Kg/cm² con 28 días de edad es de 284.66 Kg/cm², con una desviación de 8.81 Kg/cm² y un coeficiente de variación de 3.10% estos valores representan que posee un excelente y un buen grado de control de calidad en su desviación estándar y coeficiente de variación respectivamente según el comité ACI 214R -11. La mitad de las muestras tuvieron una resistencia menor de 281.527 Kg/cm² y 281.53 Kg/cm² fue la resistencia más frecuente en el ensayo de dicha resistencia a los 28 días de edad. Teniendo como resistencia mínima 271.624 Kg/cm² y máxima 295.674 Kg/cm².

- $F'C= 310$ Kg/cm²

El promedio de las resistencias a la compresión del concreto, cuyo diseño es de $f'_c=310$ Kg/cm² con 7 días de edad es de 210.87 Kg/cm², con una desviación de 4.69 Kg/cm². La mitad de las muestras tuvieron una resistencia menor de 210.791 Kg/cm² en el ensayo de dicha resistencia a los 7 días de edad. Teniendo como resistencia mínima 204.779 Kg/cm² y máxima 217.865 Kg/cm².

El promedio de las resistencias a la compresión del concreto, cuyo diseño es de $f'_c=310$ Kg/cm² con 14 días de edad es de 267.99 Kg/cm², con una desviación de 5.27 Kg/cm².

La mitad de las muestras tuvieron una resistencia menor de 269.502 Kg/cm² y 269.50 Kg/cm² fue la resistencia más frecuente en el ensayo de dicha resistencia a los 14 días de edad. Teniendo como resistencia mínima 259.599 Kg/cm² y máxima 275.161 Kg/cm².

El promedio de las resistencias a la compresión del concreto, cuyo diseño es de $f'_c=310$ Kg/cm² con 28 días de edad es de 310.71 Kg/cm², con una desviación de 3.07 Kg/cm² y

un coeficiente de variación de 0.99% estos valores representan que posee un excelente grado de control de calidad en su desviación estándar y coeficiente de variación según el comité ACI 214R -11. La mitad de las muestras tuvieron una resistencia menor de 310.175 Kg/cm² y 311.94 Kg/cm² fue la resistencia más frecuente en el ensayo de dicha resistencia a los 28 días de edad. Teniendo como resistencia mínima 306.991 Kg/cm² y máxima 316.894 Kg/cm².

4.1.2.3.4 ESTIMACIÓN DE INTERVALOS DE CONFIANZA PARA LA MEDIA: VARIANZA SUPUESTA DESCONOCIDA PARA UNA POBLACIÓN NORMAL

Sea X_1, X_2, \dots, X_n una muestra aleatoria de una población normal donde la varianza es supuesta desconocida y sean la media y la varianza muestral los datos conocidos.

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1} \quad \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Tiene una distribución t-student con n-1 grados de libertad, es decir t(n-1), por lo tanto la distribución de probabilidad de T se encuentran los números $\pm t_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1}$,

expresados de la siguiente manera: $P\{-t_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1} \leq T \leq t_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1}\} = 1-\alpha$

Donde:
$$T = \frac{\bar{X} - \mu}{S/\sqrt{n}}$$

$$P\{-t_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1} \leq \frac{\bar{X} - \mu}{S/\sqrt{n}} \leq t_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1}\} = 1-\alpha$$

$$P\{\bar{x} - t_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1} * S/\sqrt{n} \leq \mu \leq \bar{x} + t_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1} * S/\sqrt{n}\} = 1-\alpha$$

$$\bar{x} - t_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1} * S/\sqrt{n} \leq \mu \leq \bar{x} + t_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1} * S/\sqrt{n}$$

Se trabajó con un 95% de confianza, la cual nos da un valor de 0.975, dichos valores junto al grados de libertad son introducidos a la tabla T-STUDENT (Anexo D-4, Tabla 53). Los valores obtenidos fueron remplazados en la siguiente fórmula:

$$\bar{x} - t_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1} * S / \sqrt{n} \leq \mu \leq \bar{x} + Z_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1} * S / \sqrt{n}$$

Los intervalos derivados (Anexo G-6) de las dosificaciones realizadas fueron los siguientes:

Tabla 29

Intervalos de confianza para resistencias a la compresión del concreto

RESISTENCIA	EDAD	N-1	$t_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1}$	S (Kg/cm ²)	\bar{X} (Kg/cm ²)	INTERVALOS DE CONFIANZA (Kg/cm ²)
f'c=175 kg/cm ²	7	7	2.365	12.13	140.91	[130.77, 151.05]
	14	7	2.365	6.27	182.28	[177.04, 187.52]
	28	6	2.447	3.52	215.00	[211.74, 218.26]
f'c=210 kg/cm ²	7	7	2.365	10.73	195.41	[186.43, 204.38]
	14	7	2.365	6.35	231.84	[226.53, 237.14]
	28	7	2.365	8.25	264.99	[258.10, 271.89]
f'c=250 kg/cm ²	7	7	2.365	7.82	191.85	[185.31, 198.39]
	14	7	2.365	11.29	227.33	[217.88, 236.77]
	28	5	2.571	4.24	250.17	[245.72, 254.61]
f'c=280 kg/cm ²	7	7	2.365	10.75	217.42	[208.44, 226.41]
	14	7	2.365	5.35	250.49	[246.02, 254.96]
	28	6	2.447	8.81	284.66	[276.51, 292.81]
f'c=310 kg/cm ²	7	6	2.447	4.69	210.87	[206.53, 215.22]
	14	6	2.447	5.27	267.99	[263.11, 272.86]
	28	7	2.365	3.07	310.71	[308.14, 313.27]

Fuente: Elaboración propia

4.2 PREPARACIÓN DE LOS FEATURES Y DATOS

Tomando en cuenta los 240 datos y resultados de la base original anteriormente analizados, se detectaron por el Método de Grubbs 5 datos anómalos (pág. 101). Estos “datos anómalos” fueron eliminados ya que no son una cantidad representativa que afecte a nuestra muestra; si es que considerábamos a estas anomalías en nuestro procesamiento de resultados llegarían afectar su comportamiento en el procesamiento de información y en el modelamiento de la Red Neuronal Artificial.

Los 235 datos y resultados restantes serán cargados a nuestro computador y se podrán visualizar como en la siguiente tabla:

Tabla 30
Resultados de los ensayos físicos

	MF ARENA	PE ARENA	MF PIEDRA	PE PIEDRA	TMN	AGUA LT	ARENA KG	PIEDRA KG	CEMENTO KG	EDAD DIAS	FC DE LABORATORIO
0	2.87	2.47	6.75	2.63	0.75	1.540	4.952	7.242	2.297	7	151.374
1	2.87	2.47	6.75	2.63	0.75	1.533	4.951	7.245	2.300	7	127.324
2	2.87	2.47	6.75	2.63	0.75	1.527	4.967	7.248	2.283	7	134.397
3	2.87	2.47	6.75	2.63	0.75	1.533	4.952	7.251	2.317	7	155.618
4	2.87	2.47	6.75	2.63	0.75	1.540	4.952	7.242	2.297	14	183.912
...
230	2.87	2.47	6.75	2.63	0.75	1.527	4.133	7.243	3.313	28	304.162
231	2.87	2.47	6.75	2.63	0.75	1.533	4.140	7.233	3.310	28	312.650
232	2.87	2.47	6.75	2.63	0.75	1.531	4.138	7.237	3.317	28	311.236
233	2.87	2.47	6.75	2.63	0.75	1.532	4.140	7.240	3.313	28	302.747
234	2.87	2.47	6.75	2.63	0.75	1.527	4.133	7.233	3.317	28	311.236

235 rows × 11 columns

Fuente: Elaboración propia en python

4.2.1 DISEÑO DE FEATURES

Para poder ver si los features son independientes se utiliza la visualización de la *matriz de correlación de los features*.

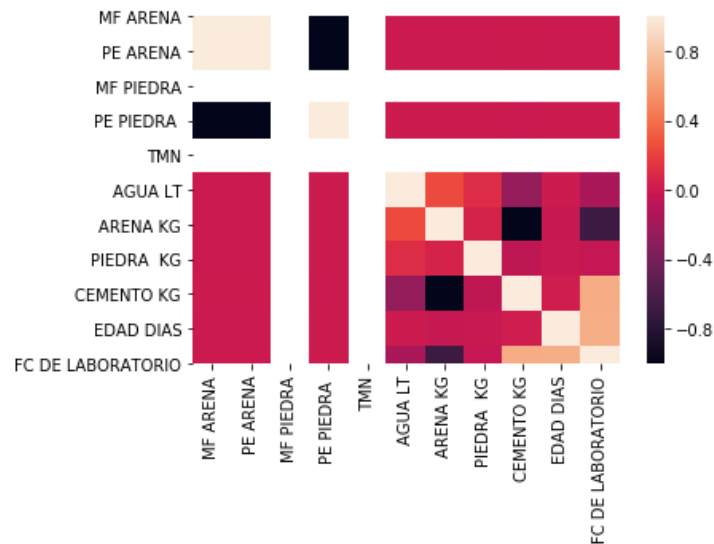


Ilustración 25 Matriz de correlación. Elaboración propia

Para poder seleccionar los features a utilizar nos basamos en tres principios, los cuales son: informativos, independientes y cantidad controlada. Teniendo en cuenta los criterios antes mencionados se puede observar en la Ilustración 25, que las 5 últimas features cumplen con estos 3 principios. Observándose así una mayor linealidad, lo que representa que tienen una buena salud los datos. Por ello se realizó una reducción de dimensiones con los features ya definidos, tal como se encuentra representados en la Tabla 31.

Tabla 31
Nueva dimensión de los resultados de ensayo

0	1.540	4.952	7.242	2.297	7	151.37
1	1.533	4.951	7.245	2.300	7	127.32
2	1.527	4.967	7.248	2.283	7	134.40
3	1.533	4.952	7.251	2.317	7	155.62
4	1.540	4.952	7.242	2.297	14	183.91
...
230	1.527	4.133	7.243	3.313	28	304.16
231	1.533	4.140	7.233	3.310	28	312.65
232	1.531	4.138	7.237	3.317	28	311.24
233	1.532	4.140	7.240	3.313	28	302.75
234	1.527	4.133	7.233	3.317	28	311.24

235 rows × 6 columns

Fuente: Elaboración propia en python

Con esta nueva dimensión de features se ve una linealidad más representativa y junto a ello la correlación de sus features (Ilustración 26). Así mismo se plasmó una matriz de correlación con datos numéricos donde sus valores varían de 1,0 a -1,0, indicándonos así la fuerza de la relación que posee (Tabla 32).

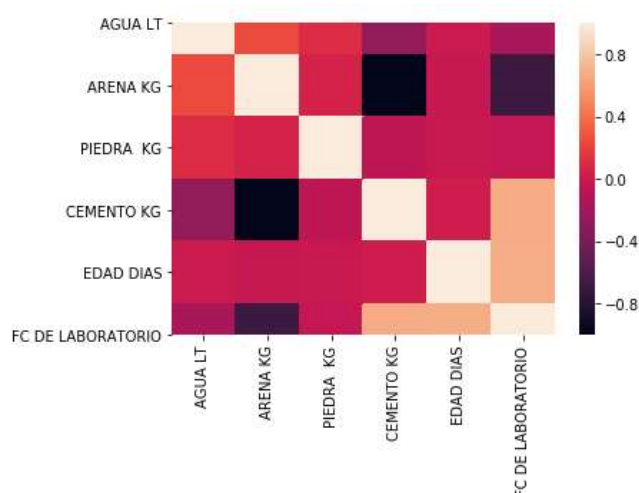


Ilustración 26 Matriz de correlación con reducción de features.
Elaboración propia.

Tabla 32
Matriz de correlación con datos numéricos

	AGUA LT	ARENA KG	PIEDRA KG	CEMENTO KG	EDAD DIAS	FC DE LABORATORIO
AGUA LT	1.000000	0.244248	0.111500	-0.250121	0.002609	-0.152796
ARENA KG	0.244248	1.000000	0.057505	-0.999520	-0.021735	-0.672580
PIEDRA KG	0.111500	0.057505	1.000000	-0.061393	-0.012869	-0.037020
CEMENTO KG	-0.250121	-0.999520	-0.061393	1.000000	0.021796	0.673573
EDAD DIAS	0.002609	-0.021735	-0.012869	0.021796	1.000000	0.681260
FC DE LABORATORIO	-0.152796	-0.672580	-0.037020	0.673573	0.681260	1.000000

Fuente: Elaboración propia en python

4.2.2 DESCRIPCIÓN DE LOS DATOS

En la Tabla 33 se observa los features y los diferentes parámetros estadísticos de toda nuestra DataFrame cargada (Cantidad, Media, Desviación Estándar, Mínimos y Máximos, Percentiles, Cuartiles).

Tabla 33
Descripción de los datos

	AGUA LT	ARENA KG	PIEDRA KG	CEMENTO KG	EDAD DIAS	FC DE LABORATORIO
count	235.000000	235.000000	235.000000	235.000000	235.000000	235.000000
mean	1.532345	4.479332	7.241277	2.887187	16.144681	228.617574
std	0.009460	0.273955	0.005051	0.344395	8.705799	43.927445
min	1.500000	4.133000	7.230000	2.267000	7.000000	111.760000
25%	1.527000	4.303000	7.240000	2.867000	7.000000	200.890000
50%	1.533000	4.490000	7.242000	2.872000	14.000000	224.940000
75%	1.537000	4.493000	7.243000	3.113000	28.000000	260.310000
max	1.557000	4.967000	7.253000	3.320000	28.000000	319.720000

Fuente: Elaboración propia en python

4.3 MODELO DE LA RED NEURONAL ARTIFICIAL

Después de haber probado diferentes configuraciones de número de neuronas y capas ocultas, la arquitectura de la RNA que mejores resultados ofreció para la estimación de la resistencia a la compresión del concreto fue la siguiente:

- La capa de entrada posee cinco neuronas: AGUA, ARENA, PIEDA, CEMENTO, EDAD
- Dos capas ocultas de 8 y 7 neuronas respectivamente
- Una capa de salida: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

A comparación con otras combinaciones de arquitectura de RNA, esta tiene un nivel de confiabilidad no tan alto (overfitting) y no tan bajo (underfitting) lo que conlleva a que la RNA tenga la capacidad de aprender en el entrenamiento y generalizar el conocimiento.

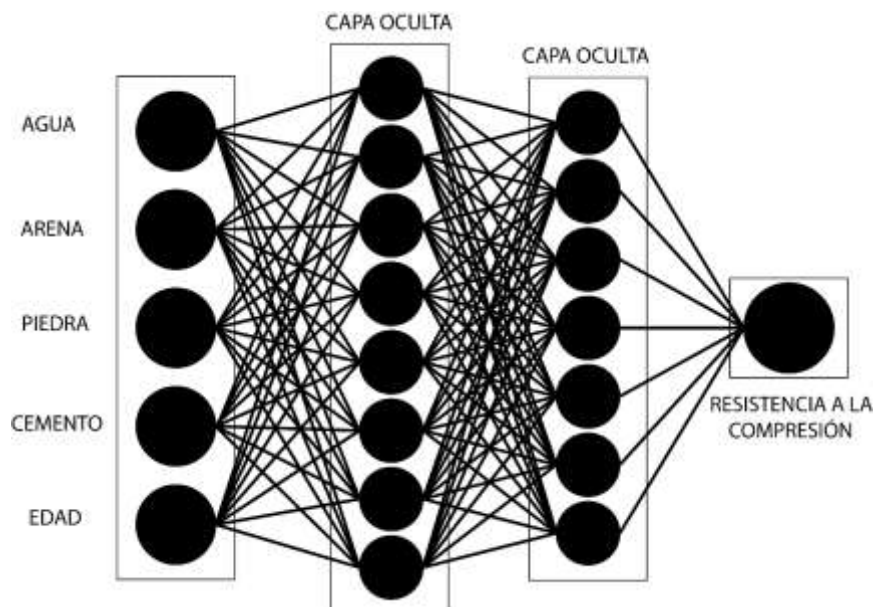


Ilustración 27 Arquitectura de la RNA propuesta. Elaboración propia.

4.4 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS RESULTADOS

En la Ilustración 28 se observa la relación entre el comportamiento real y el simulado de los ensayos de la resistencia a la compresión del concreto, al utilizar una división aleatoria el nivel de confiabilidad no puede ser controlada y a fin de obtener un resultado representativo se hace uso de la técnica CROSS VALIDATION de 5 pruebas aleatoriamente y sacando su media, este posee un coeficiente de determinación (R^2) de 0.9241. Asimismo, en la Ilustración 29 se muestran los datos de validación (medidos experimentalmente) y los predichos mediante el modelo de redes neuronales propuesto.

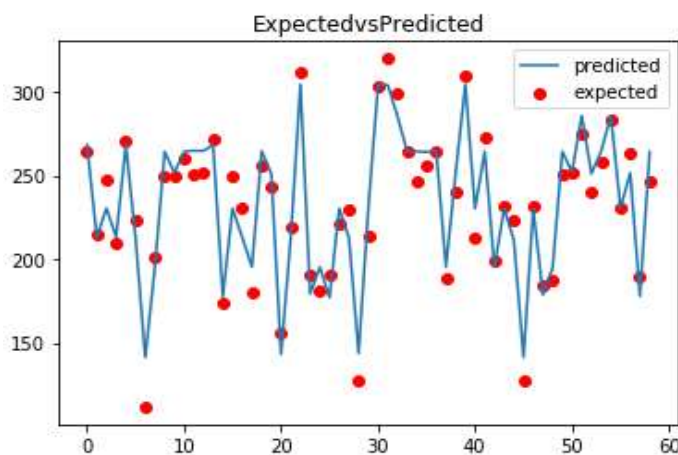


Ilustración 28 Varianza de los valores reales y de la RNA.
Elaboración propia.

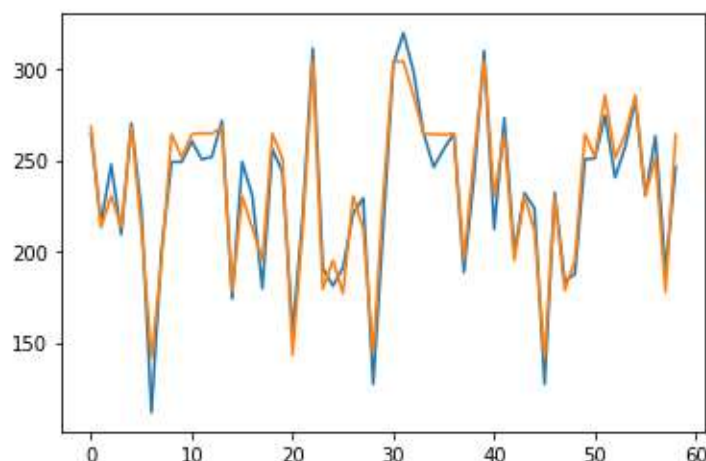


Ilustración 29 Valores reales y simulados de la resistencia a la compresión del concreto. Elaboración propia

Tabla 34

Descripción de los datos

DOSIFICACION	EDAD	REAL (f'c Kg/cm ²)	SIMULADO (f'c Kg/cm ²)	INTERVALOS DE CONFIANZA
f'c=175 kg/cm ²	7	141.47	143.88032991	[130.77, 151.05]
	14	181.79	178.10086155	[177.04, 187.52]
	28	215.04	213.16336464	[211.74, 218.26]
f'c=210 kg/cm ²	7	199.47	195.16898537	[186.43, 204.38]
	14	234.84	230.3278169	[226.53, 237.14]
	28	264.55	265.81225329	[258.10, 271.89]
f'c=250 kg/cm ²	7	193.81	195.23719454	[185.31, 198.39]
	14	232.01	230.28652571	[217.88, 236.77]
	28	251.82	264.5567617	[245.72, 254.61]
f'c=280 kg/cm ²	7	222.82	212.921677	[208.44, 226.41]
	14	254.65	251.40764762	[246.02, 254.96]
	28	280.11	285.49629246	[276.51, 292.81]
f'c=310 kg/cm ²	7	208.67	213.27842654	[206.53, 215.22]
	14	263.14	268.28629785	[263.11, 272.86]
	28	302.75	303.98662994	[308.14, 313.27]

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 34 se observan los datos reales y simulados según distintas dosificaciones, edad e intervalos de confianza, así mismo se describe las siguientes excepciones:

En la dosificación de 250 kg/cm² con 28 días de edad se observa que el valor simulado de la resistencia es de 264.55 kg/cm², este valor es aceptado porque el valor obtenido es mayor a

la especificada y para la dosificación de 310 kg/cm² a los 28 días da una resistencia de 303.99 kg/cm² este valor es aceptado teniendo en cuenta el ACI 318, el cual considera que ningún resultado es menor que f'_c en más de 3,5 MPa cuando f'_c es 35MPa o menor. Lo que conlleva a decir que dichos datos que escapan de los intervalos de confianza son aceptados en el tema de control de calidad en obra.

4.5 CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

En la Tabla 35 se muestra las relaciones en los conjuntos de entrenamiento, validación y comprobación para la red tipo multicapa, así mismo en la Ilustración 30 se observa la varianza de los valores reales y de la RNA en la comprobación.

Tabla 35

Resultados del proceso del desarrollo de la RNA

RED	PROCESO	R	R ²	RMSE
REGRESOR PERCEPTRON MULTICAPA [5 8 7 1]	ENTRENAMIENTO Y VALIDACIÓN	0.9602	0.9241	11.6479
	COMPROBACIÓN	0.9051	0.8192	18.7424

Fuente: Elaboración propia

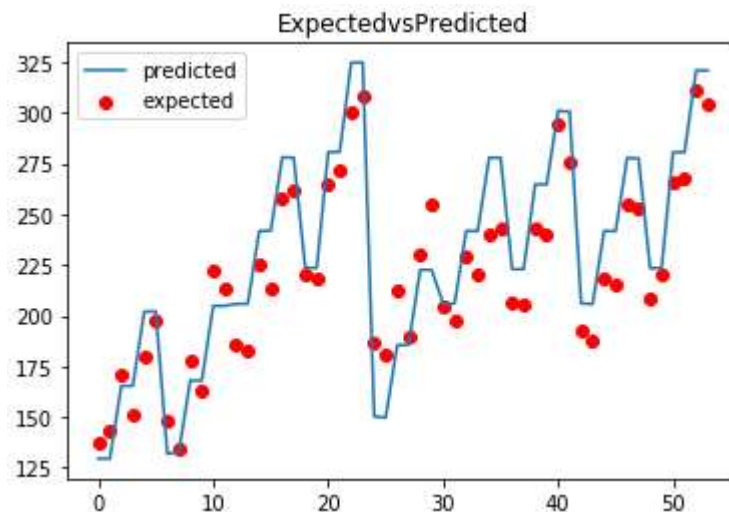


Ilustración 30 Varianza de los valores reales y de la RNA en la comprobación. Elaboración propia.

Los coeficientes de determinación obtenidos en el conjunto de comprobación indican que el modelo desarrollado consigue explicar al menos el 81.92% de la variabilidad de las muestras que nunca ha visto.

Los resultados obtenidos durante el proceso de desarrollo de la red, con coeficientes de correlación comprendidos entre 0.91 y 0.96, son coherentes con los obtenidos por otros autores consultados, los cuales obtuvieron coeficientes de correlación de 0.81 y 0.98 (Lee, 2003; Oztas et al., 2006; Ukrainczyk y Ukrainczyk, 2008; Yapak et al., 2013). Por lo tanto, se puede comprobar que los resultados obtenidos están dentro de los márgenes considerados por otros autores como aceptables en sus trabajos de investigación y, consecuentemente a ello podemos considerar a esta red desarrollada como apta para la modelización del ensayo de la resistencia a la compresión del concreto.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Esta investigación hizo uso de la aplicación de las Redes Neuronales Artificiales, con la finalidad de estimar la propiedad mecánica del concreto (resistencia a la compresión). Esto fue posible con el entrenamiento y comprobación de dicha red, cuyos datos fueron obtenidos en base a las propiedades del agregado proveniente de la cantera Tres tomas, diseños de mezclas haciendo uso del método del comité 211 ACI 2009 ($f'c=175 \text{ Kg/cm}^2$, $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$, $f'c=250 \text{ Kg/cm}^2$, $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ y $f'c=310 \text{ Kg/cm}^2$) y diferentes normas estandarizadas en su elaboración, curado y ensayo de muestras.
- Del análisis realizado de la muestra extraída indicada en la lámina U-02 de los agregados provenientes de la cantera Tres Tomas se determinó que estos poseen propiedades físicas (granulometría, módulo de finura, tamaño máximo nominal, peso específico, peso unitario, porcentaje de absorción, contenido de humedad y contenido de material que pasa la malla N°200) adecuadas para ser empleados en el sector de la construcción. Del estudio adicionalmente se concluye que el agregado fino extraído (LAMINA U-02) proveniente de la cantera Tres Tomas cumplió con los requisitos y límites establecidos en la Normas Técnicas Peruanas

- Se desarrollaron dosificaciones ($f'c=175 \text{ Kg/cm}^2$, $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$, $f'c=250 \text{ Kg/cm}^2$, $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ y $f'c=310 \text{ Kg/cm}^2$) en función a las especificaciones técnicas usualmente solicitadas en los proyectos, estos se obtuvieron en base a las propiedades de los agregados de la cantera Tres Tomas y normativa técnica peruana (NTP) utilizada en la presente investigación.
- En la investigación se elaboró una Red Neuronal Artificial de tipo Multicapa Supervisada, la cual posee dos capas ocultas de 8 y 7 neuronas respectivamente, esta estructura presenta una menor complejidad interna y su tiempo de desarrollo es sensiblemente inferior por lo que lo hace más adecuado para resolver de forma efectiva el problema de la modelización del ensayo de compresión del concreto y así obtener valores fiables.
- Se utilizó el lenguaje de programación Python (en la actualidad es el lenguaje de programación nodriza de estos tipos de aplicación) el cual nos proporcionó herramientas avanzadas y librerías que nos ayudó a manipular cantidades de datos, mostrando resultados en poco tiempo y semejantes a los estimados.
- En el conjunto de comprobaciones de la modelización de la Red Neuronal Artificial se obtuvo un coeficiente de correlación (R) de 0.9602, coeficiente de determinación (R^2) de 0.9241 y la raíz del error cuadrático medio (RMSE) de 11.6479. Los cuales son coherentes con los obtenidos por otros autores que obtuvieron como coeficiente de determinación 87% (García, Acuña, Espinoza, Torre & Moromi, 2014).

Así mismos los resultados obtenidos durante el proceso de desarrollo de la red (entrenamiento, validación y comprobación) cuentan con un coeficiente de correlación de 0.91 y 0.96, valor semejante con los coeficientes de correlación 0.93 y 0.98 (García, Acuña, Espinoza, Torre & Moromi, 2014) y entre 0.81 y 0.98 (Lee, 2003; Oztas et al., 2006; Ukrainczyk y Ukrainczyk, 2008; Yapak et al., 2013).

- La técnica de modelización que se utilizó en el presente estudio posee un nivel de confiabilidad de 92% el cual se encuentra dentro del rango con otros autores consultados, garantizando los resultados en menor tiempo y sin dejar de lado la eficacia de sus resultados.

5.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar más ensayos normalizados según la Normativa Técnica Peruana de las distintas canteras de la Región Lambayeque y tomar en cuenta los factores que pueden ocasionar variaciones en las propiedades del concreto y variaciones debido a discrepancias en los métodos de ensayo de modo la Red Neuronal Artificial tenga una mayor base de datos. Siendo más generalizado su estimación de resistencias a la compresión del concreto utilizando canteras de dicha región. Se exhorta a seguir haciendo más estudios en la cantera Tres Tomas, a fin de obtener más información que permita nutrir a la Red Neuronal artificial mediante otros proyectos pues la presente tesis queda como base.
- Se recomienda realizar otras dosificaciones, con distintos tipos de cemento, usando aditivos y diferentes condiciones climatológicas, para de ese modo tener una base de datos que podría ser de uso global.
- Se recomienda utilizar diferentes tipos de Redes Neuronales Artificiales y el Deep Learning, a fin de encontrar mejoras en el modelo usado para determinar la resistencia a la compresión del concreto.
- Se incita a probar diferentes tipos de lenguajes aplicado en redes neuronales artificiales, buscando así poder observar ventajas y desventajas a comparación de su uso en Python.
- Se sugiere el estudio de otras variables de diseño, así como el análisis del manejo de parámetros adicionales que puedan afectar la resistencia a la compresión con el fin de encontrar mejoras en el nivel de confiabilidad del modelo.

- Se sugiere utilizar diferentes modelos de Machine Learning (árboles de decisión, regresión lineal) a fin de comparar su desempeño y su nivel de confiabilidad con el propuesto en la presente investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acuña, L., Espinoza, P., Moromi, I., Torre, A. & García, F. (2017). Concreto de alto rendimiento, predicción de su resistencia a la compresión mediante redes neuronales artificiales. *TECNIA*, 27 (1), 51-59. DOI: <http://dx.doi.org/10.21754/tecnia.v27i1.125>

Arcilla, J., Riveros, C. A. & Rivero, E. (2014). Optimización de secciones de vigas y columnas para el cumplimiento de la deriva en edificaciones de concreto reforzado mediante Redes Neuronales Artificiales. *Revista Facultad de Ingeniería de la Universidad Antioquia*, ISSN 0120-6230(70), 34-44.

Asociación del Concreto Internacional 211. (2009). *Diseño de mezcla para la elaboración del concreto estructural*. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/362431291/Diseno-de-Mezcla-Metodo-Comite-211-Del-Aci>

Asociación del Concreto Internacional 214R-11. (2011). *Guide to Evaluation of Strength Test Results of Concrete*. Recuperado de http://dl.mycivil.ir/dozanani/ACI/ACI%20214R-11%20Guide%20to%20Evaluation%20of%20Strength%20Test%20Results%20of%20Concrete_MyCivil.ir.pdf

Calvo B., D. (2017,13, Julio). *Clasificación de las redes neuronales artificiales*. Recuperado de <https://www.diegocalvo.es/clasificacion-de-redes-neuronales-artificiales/>

Chaparro S., M., (2014, 04, Julio). *Tecnología del concreto*. Recuperado de <https://es.slideshare.net/guidotoromendoza9/tecnologia-del-concreto-primera-parte>

Córdova Z., M. (Quinta Ed.). (2003). *Estadística Descriptiva e inferencial Aplicaciones*. Lima: Editorial Moshera S.R.L.

Díaz, M. (2017). *Uso de 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.

Enciclopedia Construmática. (2008). Características del cono de Abrams. *Enciclopedia Construmática* [versión electrónica]. Barcelona: Enciclopedia Construmática, https://www.construmatica.com/construpedia/Cono_de_Abrams

Fuentes, Q. & Peralta, S. (2018). *Evaluación de las propiedades del concreto con cemento Pacasmayo, Inka y Mochica en edificaciones convencionales* (Tesis de pregrado). Universidad Señor de Sipán, Lambayeque.

García Serrano, A (Segunda Ed). (2016). *Inteligencia Artificial, Fundamentos, práctica y aplicaciones*. México: Alfaomega

Gonzales Gaspar, C. (2018). *Análisis de la resistencia del concreto mediante redes neuronales haciendo uso del agregado de la cantera Santa Rosa Huancavelica* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica.

Gonzales, L. O., Guerrero A. P., & Delvasto S. (2012). Aplicación de la inteligencia Artificial en el diseño de mezclas de concreto. Cuaderno *ACTIVA*, ISSN 2027-8101(4) ,55-65.

Granilla, G. (2017). *Optimización de secciones de concreto armado para el control de desplazamiento lateral mediante el uso de redes neuronales artificiales* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional San Juan Antonio Abad, Cuzco.

Grubbs, F. & Beck, G.(1972). Extension of Sample Sizes and Percentage Points for Significance Tests of Outlying Observations. *Technometrics*, 14(4), 847-854.

Huertas Campos, C. (2013,22 de Mayo). *Granulometría de los agregados*. Recuperado de <https://es.slideshare.net/carloshuerta7737/granulometrico-de-los-agregados-articulo>

INDECOPI, " HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas (NTP 339.034)", 2008, Lima 2008.

INDECOPI, " HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de cemento Portland. (NTP 339.035)", 2009, Lima 2009.

INDECOPI, " HORMIGÓN (CONCRETO). Método de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento Portland. Requisitos. (NTP 339.088)", 2006, Lima 2006.

INDECOPI, "AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global. (NTP 400.012)", 2013, Lima 2013.

INDECOPI, "AGREGADOS. Especificaciones normalizadas para agregados en concreto. (NTP 400.037)", 2014, Lima 2014.

INDECOPI, "AGREGADOS. Extracción y preparación de las muestras. (NTP 400.010)", 2011, Lima 2016.

INDECOPI, "AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad evaporable de agregados por secado. (NTP 339.185)", 2013, Lima 2013.

INDECOPI, "AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad ("Peso Unitario") y los vacíos en los agregados. (NTP 400.017)", 2011, Lima 2011.

INDECOPI, "AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar más finos que pasan por el tamiz normalizado 75 μm (N°200) por lavado en agregados. (NTP 400.018)", 2002, Lima 2002.

INDECOPI, "AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino. (NTP 400.022)", 2013, Lima 2013.

INDECOPI, "AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso. (NTP 400.021)", 2002, Lima 2002.

INDECOPI, "AGREGADOS. Práctica normalizada para reducir las muestras de agregado a tamaño de ensayo. (NTP 400.043)", 2015, Lima 2015.

INDECOPI, "CEMENTOS. Determinación del tiempo de fraguado del cemento hidráulico utilizando la aguja de Vicat. (NTP 334.006)", 2013, Lima 2013.

INDECOPI, "HORMIGÓN (CONCRETO). Definiciones y terminología relativas al hormigón y agregados. (NTP 339.047)", 2006, Lima 2006.

Ingeniero Martínez S., J. (2012). Estudio de Mecánica de Suelos con fines de cimentación de estructuras del proyecto "Construcción de edificio comercial de cinco niveles". Recuperado del sitio de internet de <https://es.scribd.com/document/104912391/estudio-de-mecanica-de-suelo>

Isasi Viñuela & Galván León (2003) .*Redes de Neuronas Artificiales. Un enfoque Práctico*. España: Pearson

Lee, S.C. (2003). Prediction of concrete strength using artificial neural networks. *Engineering Structure*, 25 (7), 849-857. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0141-0296\(03\)00004-X](https://doi.org/10.1016/S0141-0296(03)00004-X)

Lizarazo, J. M. & Gómez, J. G. (2007). Desarrollo de un modelo de redes neuronales artificiales para predecir la resistencia a la compresión y la resistividad eléctrica del concreto. *Revista ingeniería e investigación de la Universidad Nacional de Colombia* 27 (1) ,11-18.

Martínez Z., L. & Torres F., M. (2013). Límites de conformidad de finos pasados por el tamiz 200. Influencia reológico mecánica en la matriz del hormigón. *Revista de Arquitectura e Ingeniería* ,7 (3), pag.1

Muñoz, B. (2014). *Efecto de la sílice amorfa en las propiedades cristaloquímicas y mecánicas del hormigón en un medio salino* (Tesis de pregrado). Universidad Austral de Chile, Valdivia- Chile.

Niño H., J. R. (Tercera Ed.). (2010). Tecnología del concreto Tomo 1: Materiales, propiedades y diseño de mezclas .Colombia: Editorial Nomos Impresores

Oztas, A., Pala M., Ozbay E., Kanka E., Caglar A. & Bhatti. (2006). Predicting the compressive strength and slump of high strength concrete using neural network. *Construction and Building Materials*, 20 (9), 769-775.

Pacasmayo (2018). *Especificación técnica cemento Fortimax*. Recuperado de https://www.cementospacasmayo.com.pe/Aplicaciones/Web/webpacasmayo.nsf/xsp_producto.xsp?tab=24&pro=20

Perú Ministerio de salud (2011). *Reglamento de la calidad del agua para consumo humano DS N°031-2010-SA*. Lima. Recuperado de http://www.digesa.minsa.gob.pe/publicaciones/descargas/Reglamento_Calidad_Agua.pdf

Reddy N., Krishnaiah J., Hong S. & Lee J. (2009). Modeling medium carbon steels by using artificial neural networks. *Materials Science and Engineering* 508, 93-105.doi: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2008.12.022>

Reglamento Nacional de Edificaciones. (2019). *Concreto Armado (E060)*. Lima: Megabyte s.a.c

Rivera, G. A. (2013). *Concreto simple*. Recuperado de <https://civilgeeks.com/2013/08/28/libro-de-tecnologia-del-concreto-y-mortero-ing-gerardo-a-rivera-l/>

Salgado, J. (2017). *Redes neuronales artificiales y simulación de Montecarlo como modelo predictivo que determine las propiedades físicas del concreto de alta resistencia* (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.

Software y soluciones de analítica. Lima. Recuperado de https://www.sas.com/es_pe/insights/analytics/what-is-artificial-intelligence.html

Ukrainczyk N. & Ukrainczyk V. (2008). A neural network method for analysing concrete durability. *Magazine of Concrete Research*, 60(7), 475-486.

Vásquez A, R., Guía de cemento Pacasmayo y sus aplicaciones. Recuperado de http://www.dino.com.pe/download/?file=100611_Cemento_y_sus_aplicaciones.pdf

Yaprak, H., A. Karaci, y I. Demir (2013). Prediction of the effect of varying cure conditions and w/c ratio on the compressive strength of concrete using artificial neural networks. *Neural Computing and Applications*, 22(1), 133-141. doi: 10.1007/s00521-011-0671-x

LINKOGRAFÍA

https://kupdf.net/download/ntp-400018-materiales-que-pasan-la-malla-200_5d2f8c64e2b6f50a5b661891_pdf

http://www.polgalvan.sld.cu/contenido/metinvest_como_escribir_tesis1.htm

<https://www.scribbr.es/normas-apa/hacer-una-lista-de-referencias-segun-las-normas-apa/>

<https://lasoposiciones.net/como-hacer-una-bibliografia-con-normas-apa.html>

<https://es.scribd.com/document/287768707/CEMENTOS-PERUANOS>

<https://es.scribd.com/document/245675938/Laboratorio-1-Informe-Densidad-Del-Cemento>

<https://es.scribd.com/document/236062321/Determinacion-Del-Peso-Especifico-Del-Cemento>

<https://es.scribd.com/document/352945205/Cemento-Antisalitrem-MS>

<https://es.scribd.com/document/236062321/Determinacion-Del-Peso-Especifico-Del-Cemento>

<https://es.scribd.com/document/376860962/Norma-Astm-c-188>

<https://es.scribd.com/doc/173938925/Ficha-Tecnica-Cemento-ANTI-SALITRE-MS-Cemento-Portland-Tipo-MS>

<http://notasdeconcretos.blogspot.com/2011/04/calor-de-hidratacion-del-hormigon.html>

<https://prezi.com/pqosepra78m1/calor-de-hidratacion-del-concreto/>

<https://es.scribd.com/document/36006955/Agua-EXP-2-SEMANA>

<http://cecfic.uni.edu.pe/archivos/concreto/concreto/AGUA%20PARA%20EL%20CONCRETO.pdf>

<https://es.scribd.com/doc/24863679/Composicion-Quimica-Del-Cemento>

<http://notasdeconcretos.blogspot.com/2011/04/compuestos-quimicos-e-hidratacion-del.html>

<https://es.slideshare.net/guidotoromendoza9/tecnologia-del-concreto-primera-parte>

<https://es.scribd.com/document/36006955/Agua-EXP-2-SEMANA>

<http://cecfic.uni.edu.pe/archivos/concreto/concreto/AGUA%20PARA%20EL%20CONCRETO.pdf>

<https://es.scribd.com/document/255363382/ASTM-E4-03>

<https://www.admet.com/testing-applications/testing-standards/astm-e4-force-verification-testing-machines/>

<http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2014/bmfcim9711e/doc/bmfcim9711e.pdf>

<https://blog.structuralia.com/la-importancia-del-curado-del-hormigon-y-los-distintos-metodos-para-realizarlo-adecuadamente>

<https://es.scribd.com/document/68135671/ASTM-C-172>

<https://www.udocz.com/read/ntp-339-036-1999-practica-para-muestreo-de-mezcla-1>

https://www.academia.edu/15356070/4.1_CONCRETO_EN_ESTADO_FRESCO._-_MUESTREO_Y_CLASE_DEL_CONCRETO_FRESCO

<http://andresmarketing.blogspot.com/2012/02/calculo-del-tamano-de-muestra-optimo.html>

<https://es.slideshare.net/FilomenoCarvajal1/clculo-del-tamao-de-muestra-con-ejemplos>

http://moodlelandivar.url.edu.gt/url/oa/fi/ProbabilidadEstadistica/URL_02_BAS02%20DETERMINACION%20TAMA%C3%91O%20MUESTRA.pdf

<https://www.psymba.com/company/news/message/como-determinar-el-tamano-de-una-muestra>

<https://www.sefh.es/bibliotecavirtual/erroresmedicacion/010.pdf>

<https://desarrolloweb.com/articulos/1325.php>

<https://www.paradigmadigital.com/dev/es-python-el-lenguaje-del-futuro/>

<https://www.salesforce.com/mx/blog/2017/6/Que-es-la-inteligencia-artificial.html>

https://www.sas.com/es_pe/insights/analytics/what-is-artificial-intelligence.html

<https://planetachatbot.com/inteligencia-artificial-aprendizaje-autom%C3%A1tico-y-aprendizaje-profundo-862ca9790bb9>

<https://medium.com/soldai/tipos-de-aprendizaje-autom%C3%A1tico-6413e3c615e2>

<https://www.bbva.com/es/machine-learning-que-es-y-como-funciona/>

<https://platzi.com/blog/que-es-deep-learning/>

<http://www.cs.us.es/~fsancho/?e=72>

<https://github.com/Horashio314/Redes-Neuronales-Artificiales>

https://github.com/jmv74211/Redes_neuronales

<https://github.com/LuisAlejandroSalcedo/Redes-Neuronales>

<http://neuralnetworksanddeeplearning.com/chap2.html>

<http://www.diegocalvo.es/function-de-activacion-redes-neuronales/>

https://ml4a.github.io/ml4a/es/neural_networks/

<http://docs.python.org.ar/tutorial/pdfs/TutorialPython2.pdf>

<https://docs.anaconda.com/>

<https://docs.anaconda.com/ae-notebooks/user-guide/basic-tasks/apps/jupyter/>

<https://scikit-learn.org/stable/>

https://scikit-learn.org/stable/_downloads/scikit-learn-docs.pdf

<https://platzi.com/clases/scikit/>

<https://platzi.com/clases/deep-learning/>

<https://es.coursera.org/lecture/machine-learning/gradient-descent-for-multiple-variables-Z9DKX>

https://static.platzi.com/media/public/uploads/11_e258ffa0-1430-474f-8a06-ff2e2c7d1f70.html

https://ml-cheatsheet.readthedocs.io/en/latest/logistic_regression.html

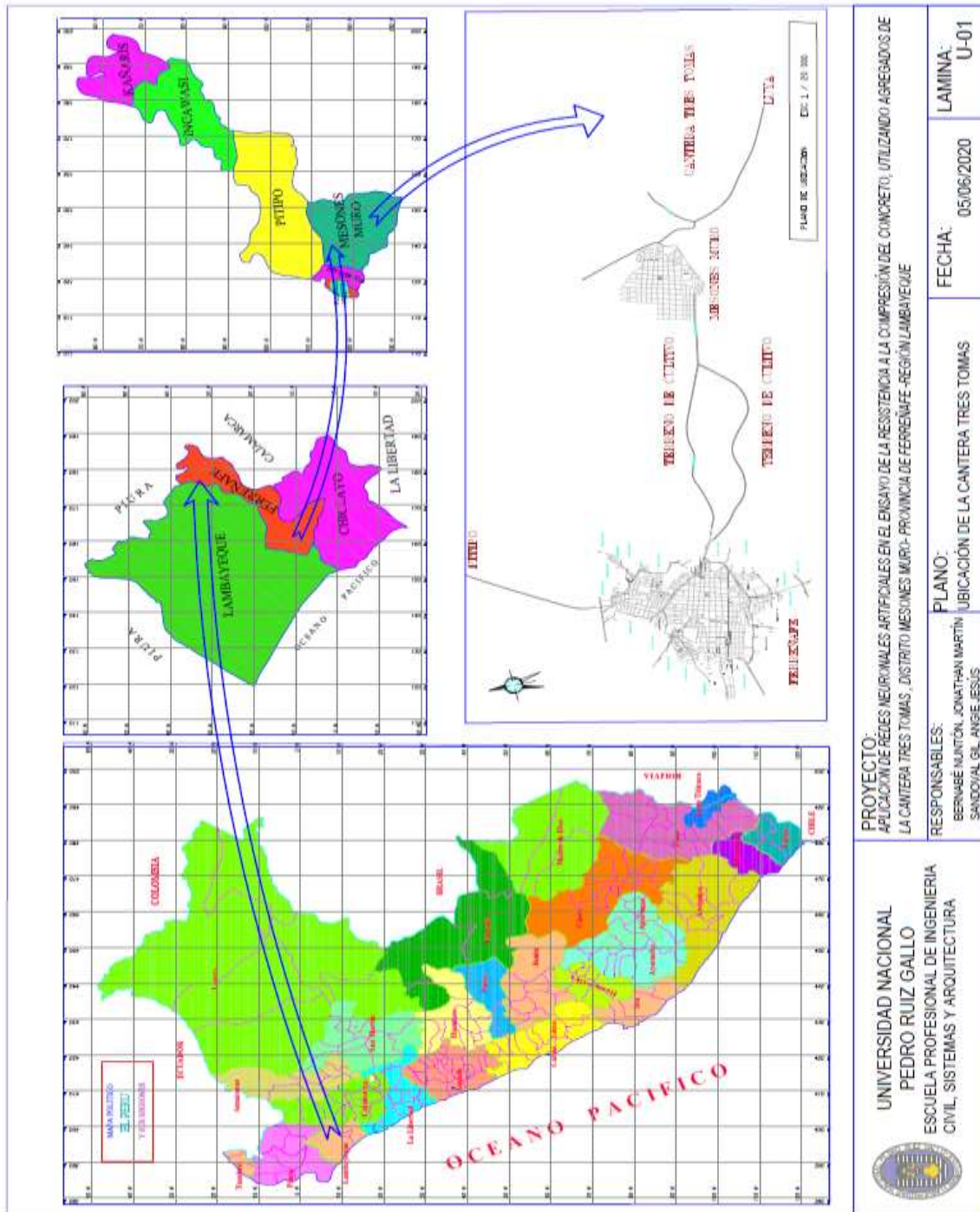
<https://www.aprendemachinelearning.com/regresion-lineal-en-espanol-con-python/>

<https://www.aprendemachinelearning.com/crear-una-red-neuronal-en-python-desde-cero/>

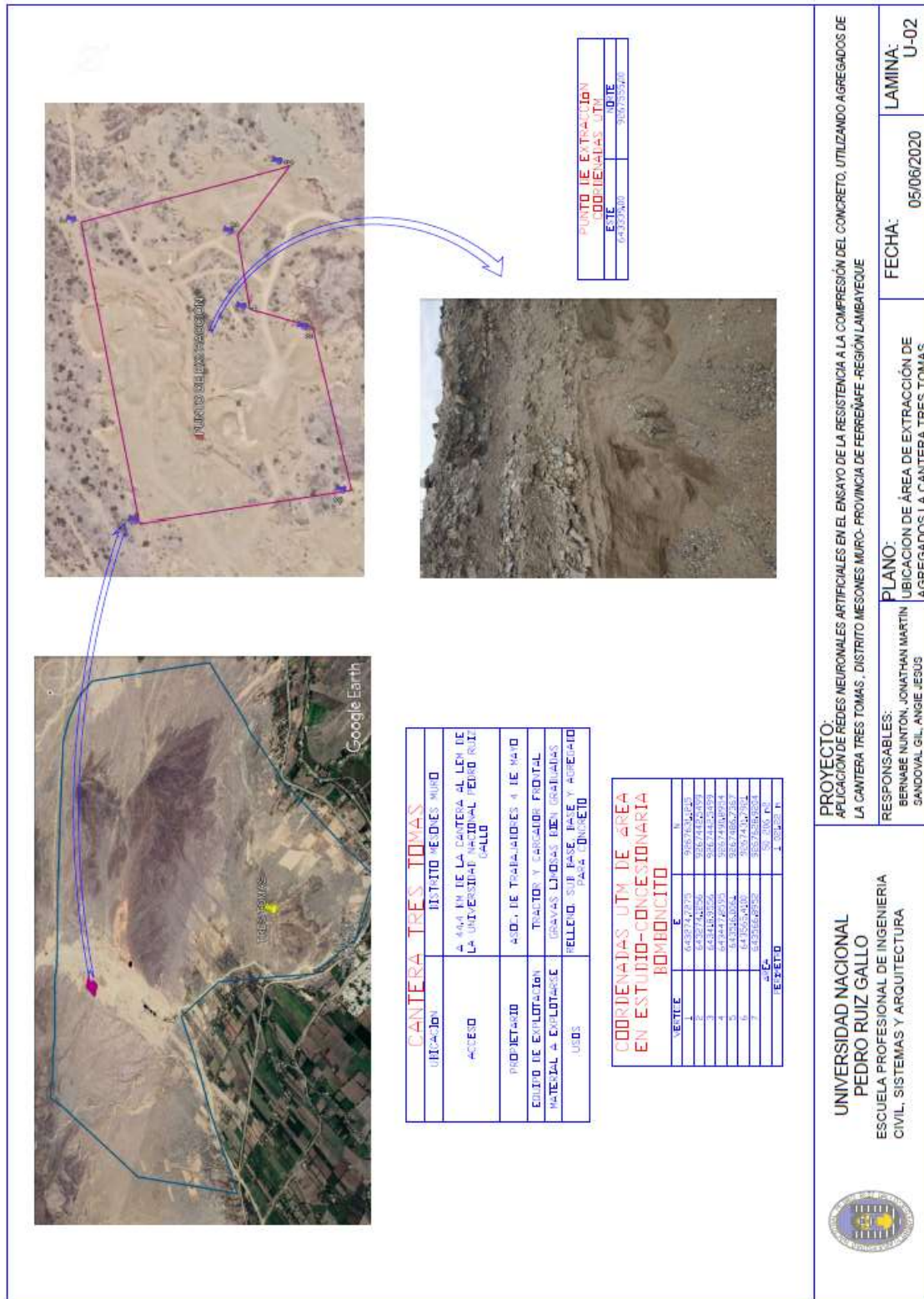
ANEXOS

ANEXO A

A-1: PLANO DE UBICACIÓN DE LA CANTERA TRES TOMAS (U-01)



A-2: PLANO DE UBICACION DE ÁREA DE EXTRACCIÓN DE AGREGADOS EN LA CANTERA TRES TOMAS (U-02)



ANEXO B

B-1: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO Y MÓDULO DE FINEZA

AGREGADO FINO

PROYECTO: APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES EN EL ENSAYO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO, UTILIZANDO AGREGADOS DE LA CANTERA TRES TOMAS, DISTRITO MESONES MURO - PROVINCIA FERREÑAFE - REGIÓN LAMBAYEQUE

LUGAR: LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO

DISTRITO: LAMBAYEQUE

PROVINCIA: LAMBAYEQUE

Tabla 36

Análisis granulométrico del agregado fino proveniente de la cantera Tres Tomas

MUESTR A		C1			
PESO MUESTRA (gr)		1,000.00			
PESO MUESTRA SECADA (gr)		-			
PESOS FINOS LAVADOS (gr)		-			
TAMICES ASTM	ABERTURA	PESO RETENID O	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULAD O	% QUE PASA
(Pulg.)	(mm.)	(gr.)			
2"	50.00				
1 1/2"	38.10				
1"	25.00	-	-	-	100.00
3/4"	19.00	-	-	-	100.00
1/2"	12.50	-	-	-	100.00
3/8"	9.50	-	-	-	100.00
N° 4	4.75	12.56	1.26	1.26	98.74
N° 8	2.36	106.29	10.63	11.89	88.11
N° 16	1.18	182.43	18.24	30.13	69.87
N° 30	0.6	344.87	34.49	64.62	35.38
N° 50	0.30	193.46	19.35	83.96	16.04
N° 100	0.15	116.13	11.61	95.57	4.43
N° 200	0.075	34.65	3.47	99.04	0.96
Platillo		9.60	0.96	100.00	-
			-		
Sumatoria		1,000.00	100.00		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 37

Límites de gradación en granulometría del agregado fino

TAMICES	ABERTURA	% QUE	% QUE
ASTM		PASA	PASA
(Pulg.)	(mm.)	L. SUPERIOR	L.INFERIOR
3/8"	9.5	100	100
N° 4	4.75	100	95
N° 8	2.36	100	80
N° 16	1.18	85	50
N° 30	0.6	60	25
N° 50	0.3	30	10
N° 100	0.15	10	0

Fuente: NTP 400.037:2014

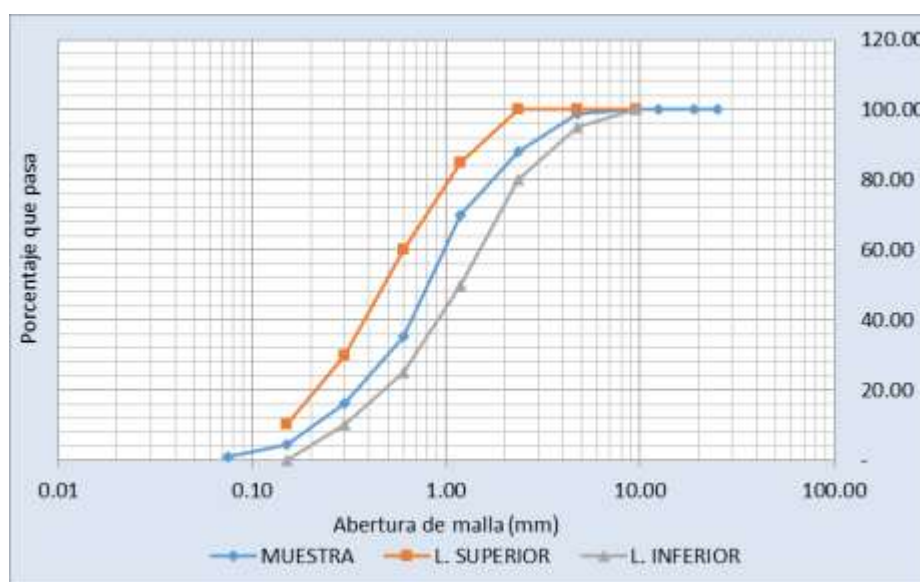


Ilustración 31 Curva granulométrica del agregado fino. Elaboración propia

MÓDULO DE FINEZA

$$\text{Módulo de fineza} = \frac{\text{Sumatoria de los \% Acumulados Retenidos en mallas válidas}}{100}$$

$$\text{Modulo de fineza} = \frac{1.26 + 11.89 + 30.13 + 64.62 + 83.96 + 95.57}{100}$$

$$\text{Módulo de fineza} = 2.87$$

Como se puede ver en los resultados el agregado fino tiene un módulo de fineza que está de acuerdo a los estándares de calidad establecidos.

$$2.3 < 2.87 < 3.1$$

AGREGADO GRUESO

PROYECTO: APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES EN EL ENSAYO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO, UTILIZANDO AGREGADOS DE LA CANTERA TRES TOMAS, DISTRITO MESONES MURO - PROVINCIA FERREÑAFE - REGIÓN LAMBAYEQUE

LUGAR: LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
DISTRITO: LAMBAYEQUE PROVINCIA: LAMBAYEQUE

Tabla 38

Análisis granulométrico del agregado grueso proveniente de la cantera Tres Tomas

MUESTRA		C1			
PESO MUESTRA (gr)		5,000.00			
PESO MUESTRA SECADA (gr)		-			
PESOS FINOS LAVADOS (gr)		-			
TAMICES ASTM	ABERTURA	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
(Pulg.)	(mm.)	(gr.)			
2"	50.00	-	-	-	
1 1/2"	38.10	-	-	-	
1"	25.00	-	-	-	100.00
3/4"	19.00	1,401.50	28.03	28.03	71.97
1/2"	12.50	1,458.50	29.17	57.20	42.80
3/8"	9.50	966.00	19.32	76.52	23.48
N° 4	4.75	1,090.00	21.80	98.32	1.68
N° 8	2.36	82.00	1.64	99.96	0.04
N° 16	1.18	1.50	0.03	99.99	0.01
N° 30	0.6		-	99.99	0.01
N° 50	0.30		-	99.99	0.01
N° 100	0.15		-	99.99	0.01
N° 200	0.075		-	99.99	0.01
Platillo		0.50	0.01	100.00	-
			-		
Sumatoria		5,000.00	100.00		

Fuente: Elaboración propia

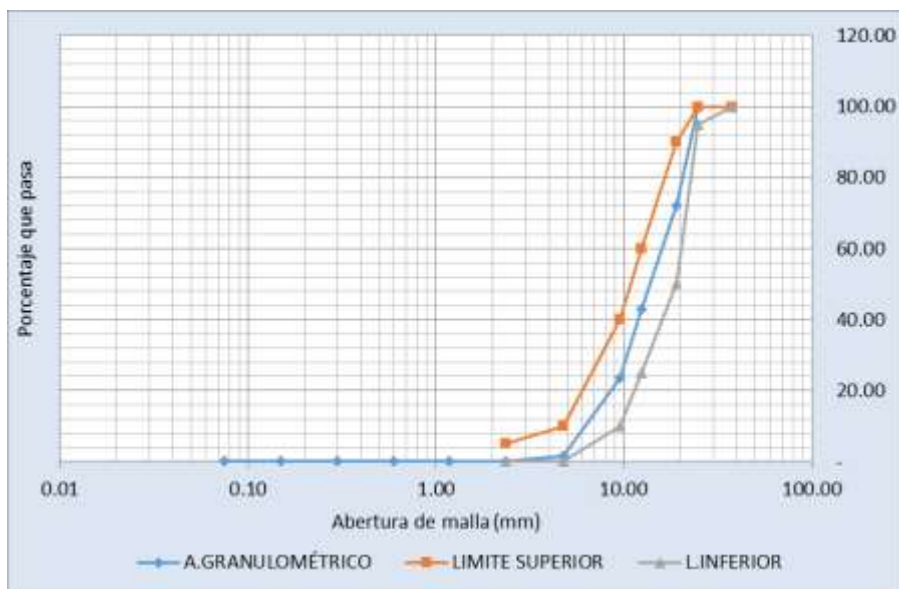


Ilustración 32 Curva granulométrica del agregado grueso. Elaboración propia

Tamaño máximo del agregado grueso:

1"

Tamaño máximo nominal del agregado grueso:

¾"

MÓDULO DE FINEZA

$$\text{Módulo de fineza} = \frac{\text{Sumatoria de los \% Acumulados Retenidos en mallas válidas}}{100}$$

$$\text{Modulo de fineza} = \frac{28.03 + 76.52 + 98.32 + 99.96 + 99.99 + 99.99 + 99.99 + 99.99}{100}$$

$$\text{Modulo de fineza} = 7.03$$

B-2: PESO ESPECÍFICO

PROYECTO: APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES EN EL ENSAYO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO, UTILIZANDO AGREGADOS DE LA CANTERA TRES TOMAS, DISTRITO MESONES MURO - PROVINCIA FERREÑAFE - REGIÓN LAMBAYEQUE

LUGAR: LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO

DISTRITO: LAMBAYEQUE

PROVINCIA: LAMBAYEQUE

AGREGADO FINO

Tabla 39

Peso específico del agregado fino proveniente de la cantera Tres Tomas

	M1
A= Masa de la muestra seca al horno, en gramos	484.5
B+S-C	196.5
B= Masa del picnómetro llenado de agua hasta la marca de calibración, en gramos	709
S= Masa de la muestra saturada superficialmente seca, en gramos	500
C= Masa del picnómetro lleno de la muestra y el agua hasta la marca de calibración, en gramos	1012.5
$A/B+S-C$	2.47

Fuente: Elaboración propia

AGREGADO GRUESO

Tabla 40

Peso específico del agregado grueso proveniente de la cantera Tres Tomas

	M1
Donde:	
A= P.M. SECA	3000
B-C	1139
B=P.M.S.SECA	3044
C=P.M.SUMERGIDA	1905
$A/B-C$	2.63

Fuente: Elaboración propia

B-3: PESO UNITARIO SUELTO

PROYECTO: APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES EN EL ENSAYO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO, UTILIZANDO AGREGADOS DE LA CANTERA TRES TOMAS, DISTRITO MESONES MURO - PROVINCIA FERREÑAFE - REGIÓN LAMBAYEQUE

LUGAR: LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO

DISTRITO: LAMBAYEQUE
AGREGADO FINO

PROVINCIA: LAMBAYEQUE

Tabla 41

Peso unitario suelto del agregado fino proveniente de la cantera Tres Tomas

	M1	M2	M3
(1) PESO DE MUESTRA+ MOLDE	6980	6960	6970
(2) PESO DE MOLDE	5495	5495.00	5495.00
(3) PESO DE MUESTRA (1-2)	1485	1465.00	1475.00
(4) VOLUMEN DE MOLDE cm ³	939	939	939
(5) PESO VOLUMÉTRICO gr/cm ³ (3/4)	1.58	1.56	1.57
	1.57 gr/cm ³		

Fuente: Elaboración propia

AGREGADO GRUESO

Tabla 42

Peso unitario suelto del agregado grueso proveniente de la cantera Tres Tomas

	M1	M2	M3
(1) G= PESO DE MUESTRA+ MOLDE	12135	12145	12205
(2) T= PESO DE MOLDE	8820	8820	8880
(3) G-T= PESO DE MUESTRA (1-2)	3315	3325	3325
(4) V= VOLUMEN DE MOLDE cm ³	2160	2160	2160
(5) M=PESO VOLUMÉTRICO gr/cm ³ (3/4)	1.535	1.539	1.539
	1.538 gr/cm ³		

Fuente: Elaboración propia

B-4: PESO UNITARIO COMPACTADO

PROYECTO: APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES EN EL ENSAYO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO, UTILIZANDO AGREGADOS DE LA CANTERA TRES TOMAS, DISTRITO MESONES MURO - PROVINCIA FERREÑAFE - REGIÓN LAMBAYEQUE

LUGAR: LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE LA UNVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO

DISTRITO: LAMBAYEQUE

PROVINCIA: LAMBAYEQUE

AGREGADO FINO

Tabla 43

Peso unitario compactado del agregado fino proveniente de la cantera Tres Tomas

		M1	M2	M3
1	PESO DE MUESTRA+ MOLDE	7095	7110	7120
2	PESO DE MOLDE	5495	5495	5495
3	PESO DE MUESTRA (1-2)	1600	1615	1625
4	VOLÚMEN DE MOLDE cm ³	939	939	939
5	PESO VOLUMÉTRICO gr/cm ³ (3/4)	1.704	1.720	1.731
		1.72 gr/cm ³		

Fuente: Elaboración propia

AGREGADO GRUESO

Tabla 44

Peso unitario compactado del agregado grueso proveniente de la cantera Tres Tomas

		M1	M2	M3
1	G=PESO DE MUESTRA+ MOLDE	1236 5	12530	12435
2	T= PESO DE MOLDE	8820	8880	8880
3	G-T= PESO DE MUESTRA (1-2)	3545	3650	3555
4	V= VOLÚMEN DE MOLDE cm ³	2104	2158	2158
5	M= PESO VOLUMÉTRICO gr/cm ³ (3/4)	1.68	1.69	1.65
		1.67 gr/cm ³		

Fuente: Elaboración propia

B-5: PORCENTAJE DE ABSORCIÓN

PROYECTO: APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES EN EL ENSAYO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO, UTILIZANDO AGREGADOS DE LA CANTERA TRES TOMAS, DISTRITO MESONES MURO - PROVINCIA FERREÑAFE - REGIÓN LAMBAYEQUE

LUGAR: LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO

DISTRITO: LAMBAYEQUE

PROVINCIA: LAMBAYEQUE

AGREGADO FINO

Tabla 45

Porcentaje de absorción del agregado fino proveniente de la cantera Tres Tomas

% ABSORCIÓN	3.20%
500= Peso de la muestra saturada superficialmente seca, en gramos	500
A= Peso muestra seca al horno, en gramos	484.5

Fuente: Elaboración propia

AGREGADO GRUESO

Tabla 46

Porcentaje de absorción del agregado grueso proveniente de la cantera Tres Tomas

% ABSORCIÓN	1.47%
A= PESO DE MUESTRA SECA	3000
B= PESO DE MUESTRA SUPERF. SECA	3044

Fuente: Elaboración propia

B-6: CONTENIDO DE HUMEDAD

PROYECTO: APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES EN EL ENSAYO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO, UTILIZANDO AGREGADOS DE LA CANTERA TRES TOMAS, DISTRITO MESONES MURO - PROVINCIA FERREÑAFE - REGIÓN LAMBAYEQUE

LUGAR: LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO

DISTRITO: LAMBAYEQUE

PROVINCIA: LAMBAYEQUE

AGREGADO FINO

Tabla 47

Contenido de humedad del agregado fino proveniente de la cantera Tres Tomas

	M1	M2	M3
(1) N° DEPÓSITO	P2	P3	P3
(2) PESO DEPÓSITO+ MUESTRA HUMEDA	1185.50 gr	1205.00 gr	1205.00 gr
(3) PESO DEPÓSITO+ MUESTRA SECA	1167.00 gr	1186.50 gr	1182.00 gr
(4) W-D=PESO DE AGUA CONTENIDA (2)-(3)	18.50 gr	18.50 gr	23.00 gr
(5) PESO DEPÓSITO	185.50 gr	205.00 gr	205.00 gr
(6) D=PESO MUESTRA SECA (3)-(5)	981.50 gr	981.50 gr	977.00 gr
(7) P=CONTENIDO DE HUMEDAD % (4)/(6)*100	1.88%	1.88%	2.35%
		2.04%	

Fuente: Elaboración propia

AGREGADO GRUESO

Tabla 48

Contenido de humedad del agregado grueso proveniente de la cantera Tres Tomas

	M1	M2	M3
(1) N° DEPÓSITO	P1	P2	P3
(2) PESO DEPÓSITO+ MUESTRA HUMEDA	3337.00 gr	3314.00 gr	3412.00 gr
(3) PESO DEPÓSITO+ MUESTRA SECA	3311.00 gr	3292.00 gr	3390.00 gr
(4) W-D=PESO DE AGUA CONTENIDA (2)-(3)	26.00 gr	22.00 gr	22.00 gr
(5) PESO DEPÓSITO	337.00 gr	314.00 gr	412.00 gr

(6)	D=PESO MUESTRA SECA (3)-(5)	2974.00 gr	2978.00 gr	2978.00 gr
(7)	P=CONTENIDO DE HUMEDAD % (4)/(6)*100	0.87%	0.74%	0.74%
			0.78%	

Fuente: Elaboración propia

B-7: CONTENIDO DE MATERIAL QUE PASA LA MALLA N°200

PROYECTO: APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES EN EL ENSAYO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO, UTILIZANDO AGREGADOS DE LA CANTERA TRES TOMAS, DISTRITO MESONES MURO - PROVINCIA FERREÑAFE - REGIÓN LAMBAYEQUE

LUGAR: LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO

DISTRITO: LAMBAYEQUE

PROVINCIA: LAMBAYEQUE

AGREGADO FINO

Tabla 49

Contenido de agregado fino que pasa la malla N°200 proveniente de la cantera Tres Tomas

DONDE	M1	M2	M3
P1=PESO DE MUESTRA	500.00 gr	500.00 gr	500.00 gr
P2=PESO DE MUESTRA SECA	465.00 gr	466.00 gr	470.00 gr
P1-P2=PESO DE FINOS LAVADOS	35.00 gr	34.00 gr	30.00 gr
A=% PASA TAMIZ N°200	7.00%	6.80%	6.00%
		6.60%	

Fuente: Elaboración propia

ANEXO C

C-1: DISEÑO DE MEZCLA $f'_c = 175 \text{ Kg/cm}^2$

DISEÑO DE MEZCLAS

PROYECTO: “APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES EN EL ENSAYO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO, UTILIZANDO AGREGADOS DE LA CANTERA TRES TOMAS, DISTRITO MESONES MURO - PROVINCIA FERREÑAFE - REGIÓN LAMBAYEQUE”

LUGAR: Laboratorio de Materiales de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo

DISTRITO: Lambayeque

PROVINCIA: Lambayeque

A. REQUERIMIENTOS:

Resistencia específica: 175 Kg/cm^2
Cemento: Fortimax Antisalitre- Pacasmayo
Agregados: Agregado grueso (Cantera Tres Tomas)
Agregado Fino (Cantera Tres Tomas)

Características:

	ARENA	PIEDRA
Humedad Natural	2.04 %	0.78 %
Absorción	3.20 %	1.47 %
Peso específico de masa	2.47	2.63
Peso unitario Varillado	1.718	1.675
Peso unitario Suelto Seco	1.571	1.538
Módulo de Fineza	2.87	7.03
Tamaño Máximo Nominal		$\frac{3}{4}$ "

B. DOSIFICACIÓN:

- SELECCIÓN DE LA RELACIÓN AGUA/ CEMENTO (A/C)

Para lograr una resistencia promedio de : 245
Se requiere una relación a/c: 0.626
Por condición a exposición: -
Luego la relación a/c de diseño es : 0.626

- ESTIMACIÓN DE AGUA DE MEZCLA Y CONTENIDO DE AIRE

Por asentamiento de 3" a 4": 205 lt/m^3
Contenido de aire atrapado: 2 %

- CONTENIDO DE CEMENTO

$205/0.626 = 327.64 \text{ Kg}$ Aproximadamente: 7.71 bolsas/m^3

- ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO
 $0.613 \times 1674.54 = 1026.494 \text{ Kg}$

- ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE AGREGADO FINO

Volumen de agua	0.205 m ³
Volumen sólido de cemento	327.64 Kg / 3150
	0.104 m ³
Volumen sólido de agregado grueso	1026.494 / 2633.8894
	0.390 m ³
Volumen de aire	0.02 m ³
	0.719 m ³

Volumen de sólido de arena requerido: $1 - 0.719 = 0.281 \text{ m}^3$

Peso de arena seca requerida: 0.281×2465.648855
693.492 Kg

- RESUMEN DE MATERIALES POR METRO CÚBICO

Agua	205 lt
Cemento	327.64 Kg
Agregado Grueso	1026.49 Kg
Agregado Fino	693.49 Kg

- AJUSTE POR HUMEDAD DEL AGREGADO

Por humedad total pesos ajustados

Agregado Grueso:	1026.49 Kg (1+ 0.78/100)
	1034.540987 Kg
Agregado Fino:	693.49 Kg (1 +2.04/100)
	707.6486071 Kg

Agua para ser añadida por corrección
por absorción:

Agregado Grueso:	1026.49 Kg (0.78-1.47)/100
	-7.01 Kg
Agregado Fino:	693.49 Kg (2.04-3.20)/100
	-8.03 Kg

-15.03820968 Kg

Agua de diseño- agua libre: 205- -15.03820968
220.04 Kg

- RESUMEN

Agua Efectiva (total de mezclado):	220.04 Lt
Cemento:	328.00 Kg
Agregado Grueso (húmedo):	1034.540987 Kg
Agregado Fino (húmedo):	707.6486071 Kg

C. DOSIFICACIÓN EN PESO:

C :	AF :	AG :	A
1 :	2.16 :	3.15 :	28.54 lt/saco

Relación agua/cemento de diseño: $205 / 328 = 0.63$

Relación agua/cemento efectiva: $220.04 / 328 = 0.67$

D. TANDA:

Agua Efectiva (total de mezclado):	=3.081 lt
Cemento:	=4.5920 kg
Agregado Grueso (húmedo):	=14.4836 Kg
Agregado Fino (húmedo):	=9.9071 Kg

C-2: DISEÑO DE MEZCLA $f'_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$

DISEÑO DE MEZCLAS

PROYECTO: “APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES EN EL ENSAYO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO, UTILIZANDO AGREGADOS DE LA CANTERA TRES TOMAS, DISTRITO MESONES MURO - PROVINCIA FERREÑAFE - REGIÓN LAMBAYEQUE”

LUGAR: Laboratorio de Materiales de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo

DISTRITO: Lambayeque

PROVINCIA: Lambayeque

A. REQUERIMIENTOS:

Resistencia específica: 210 Kg/cm^2
Cemento: Fortimax Antisalitre- Pacasmayo
Agregados:
Agregado grueso (Cantera Tres Tomas)
Agregado Fino (Cantera Tres Tomas)

Características:

	ARENA	PIEDRA
Humedad Natural	2.04 %	0.78 %
Absorción	3.20 %	1.47 %
Peso específico de masa	2.47	2.63
Peso unitario Varillado	1.718	1.675
Peso unitario Suelto Seco	1.571	1.538
Módulo de Fineza	2.87	7.03
Tamaño Máximo Nominal		¾”

B. DOSIFICACIÓN:

- SELECCIÓN DE LA RELACIÓN AGUA/ CEMENTO (A/C)

Para lograr una resistencia promedio de : 295
Se requiere una relación a/c: 0.555
Por condición a exposición: 0.50
Luego la relación a/c de diseño es : 0.50

- ESTIMACIÓN DE AGUA DE MEZCLA Y CONTENIDO DE AIRE

Por asentamiento de 3” a 4”:
205 lt/m^3
Contenido de aire atrapado: 2 %

- CONTENIDO DE CEMENTO

$205/0.50 = 410.00 \text{ Kg}$ Aproximadamente: 9.65 bolsas/ m^3

- ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO
 $0.613 \times 1674.54 = 1026.494 \text{ Kg}$

- ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE AGREGADO FINO

Volumen de agua	0.205 m ³
Volumen sólido de cemento	410.00 Kg / 3150
	0.130 m ³
Volumen sólido de agregado grueso	1026.494 / 2633.8894
	0.390 m ³
Volumen de aire	0.02 m ³
	0.745 m ³

Volumen de sólido de arena requerido: $1 - 0.745 = 0.255 \text{ m}^3$

Peso de arena seca requerida: 0.255×2465.64885
 629.026 Kg

- RESUMEN DE MATERIALES POR METRO CÚBICO

Agua	205 lt
Cemento	410.00 Kg
Agregado Grueso	1026.49 Kg
Agregado Fino	629.03 Kg

- AJUSTE POR HUMEDAD DEL AGREGADO

Por humedad total pesos ajustados	
Agregado Grueso:	1026.49 Kg (1+ 0.78/100)
	1034.540987 Kg
Agregado Fino:	629.03 Kg (1 +2.04/100)
	641.8659036 Kg
Agua para ser añadida por corrección por absorción:	
Agregado Grueso:	1026.49 Kg (0.78-1.47)/100
	-7.01 Kg
Agregado Fino:	629.03 Kg (2.04-3.20)/100
	-7.28 Kg
	-14.29176261 Kg
Agua de diseño- agua libre:	205- -14.29176261
	219.29 Kg

- RESUMEN

Agua Efectiva (total de mezclado):	219.29 Lt
Cemento:	410.00 Kg
Agregado Grueso (húmedo):	1034.540987 Kg
Agregado Fino (húmedo):	641.8659036 Kg

C. DOSIFICACIÓN EN PESO:

C :	AF :	AG :	A
1 :	1.57 :	2.52 :	22.73 lt/saco

Relación agua/cemento de diseño: $205 / 410 = 0.50$

Relación agua/cemento efectiva: $219.29 / 410 = 0.53$

D. TANDA:

Agua Efectiva (total de mezclado):	=3.070 lt
Cemento:	=5.74 kg
Agregado Grueso (húmedo):	=14.4836 Kg
Agregado Fino (húmedo):	=8.9861 Kg

C-3: DISEÑO DE MEZCLA $f'_c = 250 \text{ Kg/cm}^2$

DISEÑO DE MEZCLAS

PROYECTO: “APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES EN EL ENSAYO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO, UTILIZANDO AGREGADOS DE LA CANTERA TRES TOMAS, DISTRITO MESONES MURO - PROVINCIA FERREÑAFE - REGIÓN LAMBAYEQUE”

LUGAR: Laboratorio de Materiales de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo

DISTRITO: Lambayeque

PROVINCIA: Lambayeque

A. REQUERIMIENTOS:

Resistencia específica: 250 Kg/cm^2

Cemento: Fortimax Antisalitre- Pacasmayo

Agregados:

Agregado grueso (Cantera Tres Tomas)

Agregado Fino (Cantera Tres Tomas)

Características:

	ARENA	PIEDRA
Humedad Natural	2.04 %	0.78 %
Absorción	3.20 %	1.47 %
Peso específico de masa	2.47	2.63
Peso unitario Varillado	1.718	1.675
Peso unitario Suelto Seco	1.571	1.538
Módulo de Fineza	2.87	7.03
Tamaño Máximo Nominal		¾”

B. DOSIFICACIÓN:

- SELECCIÓN DE LA RELACIÓN AGUA/ CEMENTO (A/C)

Para lograr una resistencia promedio de : 295

Se requiere una relación a/c: 0.555

Por condición a exposición: 0.50

Luego la relación a/c de diseño es : 0.50

- ESTIMACIÓN DE AGUA DE MEZCLA Y CONTENIDO DE AIRE

Por asentamiento de 3” a 4” : 205 lt/m^3

Contenido de aire atrapado: 2 %

- CONTENIDO DE CEMENTO

$205/0.50 = 410.00 \text{ Kg}$ Aproximadamente: 9.65 bolsas/ m^3

- ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO
 $0.613 \times 1674.54 = 1026.494 \text{ Kg}$

- ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE AGREGADO FINO

Volumen de agua	0.205 m ³
Volumen sólido de cemento	410.00 Kg / 3150
	0.130 m ³
Volumen sólido de agregado grueso	1026.494 / 2633.8894
	0.390 m ³
Volumen de aire	0.02 m ³
	0.745 m ³

Volumen de sólido de arena requerido: $1 - 0.745 = 0.255 \text{ m}^3$

Peso de arena seca requerida: 0.255×2465.64885
 629.026 Kg

- RESUMEN DE MATERIALES POR METRO CÚBICO

Agua	205 lt
Cemento	410.00 Kg
Agregado Grueso	1026.49 Kg
Agregado Fino	629.03Kg

- AJUSTE POR HUMEDAD DEL AGREGADO

Por humedad total pesos ajustados	
Agregado Grueso:	1026.49 Kg (1+ 0.78/100)
	1034.540987 Kg
Agregado Fino:	629.03 Kg (1 +2.04/100)
	641.8659036 Kg
Agua para ser añadida por corrección por absorción:	
Agregado Grueso:	1026.49 Kg (0.78-1.47)/100
	-7.01 Kg
Agregado Fino:	629.03Kg (2.04-3.20)/100
	-7.28 Kg
	-14.29176261 Kg
Agua de diseño- agua libre:	205- -14.2917626
	219.29 Kg

- RESUMEN

Agua Efectiva (total de mezclado):	219.29 Lt
Cemento:	410.00 Kg
Agregado Grueso (húmedo):	1034.540987 Kg
Agregado Fino (húmedo):	641.8659036 Kg

C. DOSIFICACIÓN EN PESO:

C :	AF :	AG :	A
1 :	1.57 :	2.52 :	22.73 lt/saco

Relación agua/cemento de diseño: $205 / 410 = 0.50$

Relación agua/cemento efectiva: $219.29 / 410 = 0.53$

D. TANDA:

Agua Efectiva (total de mezclado):	=3.070 lt
Cemento:	=5.74 kg
Agregado Grueso (húmedo):	=14.4836 Kg
Agregado Fino (húmedo):	=8.9861 Kg

C-4: DISEÑO DE MEZCLA $f'_c = 280 \text{ Kg/cm}^2$

DISEÑO DE MEZCLAS

PROYECTO: “APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES EN EL ENSAYO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO, UTILIZANDO AGREGADOS DE LA CANTERA TRES TOMAS, DISTRITO MESONES MURO - PROVINCIA FERREÑAFE - REGIÓN LAMBAYEQUE”

LUGAR: Laboratorio de Materiales de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo

DISTRITO: Lambayeque

PROVINCIA: Lambayeque

A. REQUERIMIENTOS:

Resistencia específica: 280 Kg/cm^2
Cemento: Fortimax Antisalitre- Pacasmayo
Agregados: Agregado grueso (Cantera Tres Tomas)
Agregado Fino (Cantera Tres Tomas)

Características:

	ARENA	PIEDRA
Humedad Natural	2.04 %	0.78 %
Absorción	3.20 %	1.47 %
Peso específico de masa	2.47	2.63
Peso unitario Varillado	1.718	1.675
Peso unitario Suelto Seco	1.571	1.538
Módulo de Fineza	2.87	7.03
Tamaño Máximo Nominal		¾”

B. DOSIFICACIÓN:

- SELECCIÓN DE LA RELACIÓN AGUA/ CEMENTO (A/C)

Para lograr una resistencia promedio de : 365
Se requiere una relación a/c: 0.462
Por condición a exposición: 0.50
Luego la relación a/c de diseño es : 0.462

- ESTIMACIÓN DE AGUA DE MEZCLA Y CONTENIDO DE AIRE

Por asentamiento de 3” a 4” : 205 lt/m^3
Contenido de aire atrapado: 2 %

- CONTENIDO DE CEMENTO

$205/0.462 = 443.57 \text{ Kg}$ Aproximadamente: 10.44 bolsas/ m^3

- ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO
 $0.613 \times 1674.54 = 1026.494 \text{ Kg}$

- ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE AGREGADO FINO

Volumen de agua	0.205 m ³
Volumen sólido de cemento	443.57 Kg / 3150
	0.141 m ³
Volumen sólido de agregado grueso	1026.494 / 2633.8894
	0.390 m ³
Volumen de aire	0.02 m ³
	0.756 m ³

Volumen de sólido de arena requerido: $1 - 0.756 = 0.244 \text{ m}^3$

Peso de arena seca requerida: 0.244×2465.64885
 602.747 Kg

- RESUMEN DE MATERIALES POR METRO CÚBICO

Agua	205 lt
Cemento	443.57 Kg
Agregado Grueso	1026.49 Kg
Agregado Fino	602.75 Kg

- AJUSTE POR HUMEDAD DEL AGREGADO

Por humedad total pesos ajustados	
Agregado Grueso:	1026.49 Kg (1+ 0.78/100)
	1034.540987 Kg
Agregado Fino:	602.75 Kg (1 +2.04/100)
	615.0508779 Kg
Agua para ser añadida por corrección por absorción:	
Agregado Grueso:	1026.49 Kg (0.78-1.47)/100
	-7.01 Kg
Agregado Fino:	602.75 Kg (2.04-3.20)/100
	-6.98 Kg
	-13.98748814 Kg
Agua de diseño- agua libre:	205- -13.98748814
	218.99 Kg

- RESUMEN

Agua Efectiva (total de mezclado):	218.99 Lt
Cemento:	444.00 Kg
Agregado Grueso (húmedo):	1034.540987 Kg
Agregado Fino (húmedo):	615.0508779 Kg

C. DOSIFICACIÓN EN PESO:

C :	AF :	AG :	A
1 :	1.39 :	2.33 :	20.98 lt/saco

Relación agua/cemento de diseño: $205 / 444 = 0.46$

Relación agua/cemento efectiva: $218.98 / 444 = 0.49$

D. TANDA:

Agua Efectiva (total de mezclado):	=3.066 lt
Cemento:	=6.2160 kg
Agregado Grueso (húmedo):	=14.4836 Kg
Agregado Fino (húmedo):	=8.6107Kg

C-5: DISEÑO DE MEZCLA $f'_c = 310 \text{ Kg/cm}^2$

DISEÑO DE MEZCLAS

PROYECTO: “APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES EN EL ENSAYO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO, UTILIZANDO AGREGADOS DE LA CANTERA TRES TOMAS, DISTRITO MESONES MURO - PROVINCIA FERREÑAFE - REGIÓN LAMBAYEQUE”

LUGAR: Laboratorio de Materiales de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo

DISTRITO: Lambayeque

PROVINCIA: Lambayeque

A. REQUERIMIENTOS:

Resistencia específica: 310 Kg/cm^2

Cemento: Fortimax Antisalitre- Pacasmayo

Agregados:

Agregado grueso (Cantera Tres Tomas)

Agregado Fino (Cantera Tres Tomas)

Características:

	ARENA	PIEDRA
Humedad Natural	2.04 %	0.78 %
Absorción	3.20 %	1.47 %
Peso específico de masa	2.47	2.63
Peso unitario Varillado	1.718	1.675
Peso unitario Suelto Seco	1.571	1.538
Módulo de Fineza	2.87	7.03
Tamaño Máximo Nominal		¾”

B. DOSIFICACIÓN:

- SELECCIÓN DE LA RELACIÓN AGUA/ CEMENTO (A/C)

Para lograr una resistencia promedio de : 395

Se requiere una relación a/c: 0.433

Por condición a exposición: 0.50

Luego la relación a/c de diseño es : 0.433

- ESTIMACIÓN DE AGUA DE MEZCLA Y CONTENIDO DE AIRE

Por asentamiento de 3” a 4” : 205 lt/m^3

Contenido de aire atrapado: 2 %

- CONTENIDO DE CEMENTO

$205/0.433 = 473.72 \text{ Kg}$

Aproximadamente: 11.15 bolsas/ m^3

- ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO
 $0.613 \times 1674.54 = 1026.494 \text{ Kg}$

- ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE AGREGADO FINO

Volumen de agua	0.205 m ³
Volumen sólido de cemento	473.72 Kg / 3150
	0.150 m ³
Volumen sólido de agregado grueso	1026.494 / 2633.8894
	0.390 m ³
Volumen de aire	0.02 m ³
	0.765 m ³

Volumen de sólido de arena requerido: $1 - 0.765 = 0.235 \text{ m}^3$

Peso de arena seca requerida: 0.235×2465.64885
 579.149Kg

- RESUMEN DE MATERIALES POR METRO CÚBICO

Agua	205 lt
Cemento	473.72 Kg
Agregado Grueso	1026.49 Kg
Agregado Fino	579.15 Kg

- AJUSTE POR HUMEDAD DEL AGREGADO

Por humedad total pesos ajustados	
Agregado Grueso:	1026.49 Kg (1+ 0.78/100)
	1034.540987 Kg
Agregado Fino:	579.15 Kg (1 +2.04/100)
	590.9712364 Kg
Agua para ser añadida por corrección por absorción:	
Agregado Grueso:	1026.49 Kg (0.78-1.47)/100
	-7.01 Kg
Agregado Fino:	579.15 Kg (2.04-3.20)/100
	-6.71 Kg
	-13.71425252 Kg
Agua de diseño- agua libre:	205- -13.71425252
	218.71 Kg

- RESUMEN

Agua Efectiva (total de mezclado):	218.71 Lt
Cemento:	474.00 Kg
Agregado Grueso (húmedo):	1034.540987 Kg
Agregado Fino (húmedo):	590.9712364 Kg

C. DOSIFICACIÓN EN PESO:

C :	AF :	AG :	A
1 :	1.25 :	2.18 :	19.62 lt/saco

Relación agua/cemento de diseño: $205 / 474 = 0.43$

Relación agua/cemento efectiva: $218.98 / 474 = 0.46$

D. TANDA:

Agua Efectiva (total de mezclado):	=3.062 lt
Cemento:	=6.636 kg
Agregado Grueso (húmedo):	=14.4836 Kg
Agregado Fino (húmedo):	=8.2736 Kg

C-6: DISEÑO DE MEZCLA COMPROBACIONES

DISEÑO DE MEZCLAS

PROYECTO: “APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES EN EL ENSAYO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO, UTILIZANDO AGREGADOS DE LA CANTERA TRES TOMAS, DISTRITO MESONES MURO - PROVINCIA FERREÑAFE - REGIÓN LAMBAYEQUE”

LUGAR: Laboratorio de Materiales de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo

DISTRITO: Lambayeque

PROVINCIA: Lambayeque

A. REQUERIMIENTOS:

Cemento: Fortimax Antisalitre- Pacasmayo

Agregados: Agregado grueso (Cantera Tres Tomas)
Agregado Fino (Cantera Tres Tomas)

Características:

	ARENA	PIEDRA
Humedad Natural	2.04 %	0.78 %
Absorción	3.20 %	1.47 %
Peso específico de masa	2.47	2.63
Peso unitario Varillado	1.718	1.675
Peso unitario Suelto Seco	1.571	1.538
Módulo de Fineza	2.87	7.03
Tamaño Máximo Nominal		¾”

B. DOSIFICACION EN PESO:

	C	:	AF	:	AG	:	A
- F'c= 100 Kg/cm²							
	1	:	2.46	:	3.47	:	31.52 lt/saco
- F'c= 140 Kg/cm²							
	1	:	2.41	:	3.43	:	31.08 lt/saco
- F'c= 240 Kg/cm²							
	1	:	1.57	:	2.52	:	22.73 lt/saco
- F'c= 315 Kg/cm²							
	1	:	1.22	:	2.16	:	19.40 lt/saco
- F'c= 175 Kg/cm²							
	1	:	2.16	:	3.15	:	28.54 lt/saco

- **F'c= 210 Kg/cm²**
 1 : 1.57 : 2.52 : 22.73 lt/saco
- **F'c= 250 Kg/cm²**
 1 : 1.57 : 2.52 : 22.73 lt/saco
- **F'c= 280 Kg/cm²**
 1 : 1.39 : 2.33 : 20.98 lt/saco
- **F'c= 310 Kg/cm²**
 1 : 1.25 : 2.18 : 19.62 lt/saco

C. TANDA:

- **F'c= 100 Kg/cm²**
 Agua Efectiva (total de mezclado): =3.305 lt
 Cemento: =4.4700 kg
 Agregado Grueso (húmedo): =15.5181 Kg
 Agregado Fino (húmedo): =10.9806 kg
- **F'c= 140 Kg/cm²**
 Agua Efectiva (total de mezclado): =3.304 lt
 Cemento: =4.5300 kg
 Agregado Grueso (húmedo): =15.5181 kg
 Agregado Fino (húmedo): =10.9314 kg
- **F'c= 240 Kg/cm²**
 Agua Efectiva (total de mezclado): =3.289 lt
 Cemento: =6.1500 kg
 Agregado Grueso (húmedo): =15.5181 kg
 Agregado Fino (húmedo): =9.6280 kg
- **F'c= 315 Kg/cm²**
 Agua Efectiva (total de mezclado): =3.280 lt
 Cemento: =7.2000 kg
 Agregado Grueso (húmedo): =15.5181 kg
 Agregado Fino (húmedo): =8.7995 kg
- **F'c= 175 Kg/cm²**
 Agua Efectiva (total de mezclado): =3.081 lt
 Cemento: =4.5920 kg
 Agregado Grueso (húmedo): =14.4836 Kg
 Agregado Fino (húmedo): =9.9071 Kg
- **F'c= 210 Kg/cm²**
 Agua Efectiva (total de mezclado): =3.070 lt
 Cemento: =5.74 kg
 Agregado Grueso (húmedo): =14.4836 Kg
 Agregado Fino (húmedo): =8.9861 Kg
- **F'c= 250 Kg/cm²**
 Agua Efectiva (total de mezclado): =3.070 lt
 Cemento: =5.74 kg

	Agregado Grueso (húmedo):	=14.4836 Kg
	Agregado Fino (húmedo):	=8.9861 Kg
-	F'c= 280 Kg/cm²	
	Agua Efectiva (total de mezclado):	=3.066 lt
	Cemento:	=6.2160 kg
	Agregado Grueso (húmedo):	=14.4836 Kg
	Agregado Fino (húmedo):	=8.6107Kg
-	F'c= 310 Kg/cm²	
	Agua Efectiva (total de mezclado):	=3.062 lt
	Cemento:	=6.636 kg
	Agregado Grueso (húmedo):	=14.4836 Kg
	Agregado Fino (húmedo):	=8.2736 Kg

ANEXO D

D-1

Tabla 50

Valores de la tabla de Grubbs

N° DE OBS.	NIVEL DE CONFIANZA					
	99.9%	99.5%	99%	97.5%	95%	90%
10	2.606	2.482	2.410	2.290	2.176	2.036
11	2.705	2.564	2.485	2.355	2.234	2.088
12	2.791	2.636	2.550	2.412	2.285	2.134
13	2.867	2.699	2.607	2.462	2.331	2.175
14	2.935	2.755	2.659	2.507	2.371	2.213
15	2.997	2.806	2.705	2.549	2.409	2.247
16	3.052	2.852	2.747	2.585	2.443	2.279
17	3.103	2.894	2.785	2.620	2.475	2.309
18	3.149	2.932	2.821	2.651	2.504	2.335
19	3.191	2.968	2.854	2.681	2.532	2.361
20	3.230	3.001	2.884	2.709	2.557	2.385

Fuente: Grubbs, F. & Beck, G. (1972). Extension of simple sizes and percentage points for significance of outlying observations, 14(4), 847-854.

D-2

Tabla 51

Desviación estándar para diferentes estándares de control, en ensayos de resistencia a la compresión del concreto

Clases de operación	DESVIACIÓN ESTÁNDAR				
	Desviación estándar para diferentes estándares de control psi (Mpa)				
	EXCELENTE	MUY BUENO	BUENO	REGULAR	POBRE
Control para construcciones en general	< 400 (< de 2.8)	400-500 (2.8 a 3.4)	500-600 (3.4 a 4.1)	600-700 (4.1 a 4.8)	> 700 (> 2.4)
Control para laboratorios	< 200 (< de 1.4)	200-250 (1.4 a 1.7)	250-300 (1.7 a 2.1)	300-350 (2.1 a 2.4)	> 350 (> 2.4)

Fuente: ACI 214R-11, evaluación de pruebas de resistencia, a pruebas de 6" x 12" a 28 días de edad para concretos $F'_{C} \leq 500$ psi (35 MPa)

D-3

Tabla 52

Coefficientes de Variación para diferentes estándares de control, en ensayos de resistencia a la compresión del concreto

Clases de operación	COEFICIENTE DE VARIACIÓN				
	Coeficientes de variación para diferentes estándares de control, %				
	EXCELENTE	MUY BUENO	BUENO	REGULAR	POBRE
Control para construcciones en general	<3	3-4	4-5	5-6	>6
Control para laboratorios	<2	2-3	3-4	4-5	>5

Fuente: ACI 214R-11, evaluación de pruebas de resistencia, a pruebas de 6" x 12" a 28 días de edad para concretos $F'_{C} \leq 500$ psi (35 MPa)

D-4

Tabla 53

Tabla de la distribución T- STUDENT con r grados de libertad

r	1- α							
	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	0.975	0.99	0.995
1	1.0	1.376	1.963	3.078	6.134	12.706	31.821	63.657
2	0.816	1.061	1.386	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925
3	0.765	0.978	1.250	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841
4	0.741	0.941	1.190	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604
5	0.727	0.920	1.156	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032
6	0.718	0.906	1.134	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707
7	0.711	0.896	1.119	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499
8	0.706	0.889	1.108	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355
9	0.703	0.883	1.100	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250
10	0.700	0.879	1.093	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169
11	0.697	0.876	1.088	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106
12	0.695	0.873	1.083	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055
13	0.694	0.870	1.079	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012
14	0.692	0.868	1.076	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977
15	0.691	0.866	1.074	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947
16	0.690	0.865	1.071	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921
17	0.689	0.863	1.069	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898
18	0.688	0.862	1.067	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878
19	0.688	0.861	1.066	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861
20	0.687	0.860	1.064	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845
21	0.686	0.859	1.063	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831
22	0.686	0.858	1.061	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819
23	0.685	0.858	1.060	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807
24	0.685	0.857	1.059	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797
25	0.684	0.856	1.058	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787
26	0.684	0.856	1.058	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779
27	0.684	0.855	1.057	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771
28	0.683	0.855	1.056	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763
29	0.683	0.854	1.055	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756
30	0.683	0.854	1.055	1.310	1.67	2.042	2.457	2.750
40	0.681	0.851	1.050	1.303	1.684	2.021	2.443	2.704
60	0.679	0.848	1.046	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660
120	0.677	0.845	1.041	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617
∞	0.674	0.842	1.036	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576

Fuente: Córdova, Z. (ED.). (2003). Estadística Descriptiva e inferencial Aplicaciones (Quinta Edición). Lima: Moshera S.R.L.

ANEXO E

E-1: RESULTADOS DE ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO

Tabla 54

Resultados del ensayo de la resistencia a la compresión del concreto $f'_c = 175 \text{ Kg/cm}^2$

Nº DE PROBETA	MF ARENA	PE ARENA	MF PIEDRA	PE PIEDRA	TMN	AGUA LT	ARENA KG	PIEDRA KG	CEMENTO KG	EDAD DIAS	FC DE LABORATORIO Kg/cm^2
1-A	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.54	4.952	7.242	2.297	7	151.37
2-A	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.533	4.951	7.245	2.3	7	127.32
3-A	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.527	4.967	7.248	2.283	7	134.4
4-A	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.533	4.952	7.251	2.317	7	155.62
5-A	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.54	4.952	7.242	2.297	14	183.91
6-A	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.533	4.951	7.245	2.3	14	175.42
7-A	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.527	4.967	7.248	2.283	14	186.74
8-A	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.533	4.952	7.251	2.317	14	189.57
9-A	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.54	4.952	7.242	2.297	28	226.35
10-A	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.533	4.951	7.245	2.3	28	202.3
11-A	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.527	4.967	7.248	2.283	28	223.52
12-A	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.533	4.952	7.251	2.317	28	212.21
13-A	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.543	4.95	7.243	2.297	7	155.62
14-A	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.542	4.951	7.25	2.3	7	155.62
15-A	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.55	4.953	7.23	2.283	7	155.62
16-A	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.537	4.957	7.232	2.317	7	157.03
17-A	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.517	4.957	7.232	2.317	7	141.47
18-A	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.543	4.95	7.243	2.297	14	172.59
19-A	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.542	4.951	7.25	2.3	14	171.18
20-A	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.55	4.953	7.23	2.283	14	174.01

21-A	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.537	4.957	7.232	2.317	14	179.67
22-A	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.543	4.95	7.243	2.297	28	219.28
23-A	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.542	4.951	7.25	2.3	28	215.04
24-A	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.55	4.953	7.23	2.283	28	206.55
25-A	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.537	4.957	7.232	2.317	28	215.04
26-A	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.53	4.95	7.243	2.267	7	111.76
27-A	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.533	4.947	7.237	2.283	7	120.25
28-A	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.517	4.957	7.24	2.273	7	127.32
29-A	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.5	4.96	7.233	2.3	7	157.03
30-A	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.55	4.967	7.242	2.296	7	134.4
31-A	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.53	4.95	7.243	2.267	14	174.01
32-A	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.533	4.947	7.237	2.283	14	189.57
33-A	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.517	4.957	7.24	2.273	14	182.5
34-A	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.5	4.96	7.233	2.3	14	181.79
35-A	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.55	4.967	7.242	2.296	14	183.91
36-A	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.53	4.95	7.243	2.267	28	216.45
37-A	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.533	4.947	7.237	2.283	28	223.52
38-A	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.517	4.957	7.24	2.273	28	212.21
39-A	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.5	4.96	7.233	2.3	28	209.38
40-A	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.55	4.967	7.242	2.296	28	220.69
41-A	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.557	4.947	7.233	2.283	7	121.66
42-A	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.55	4.933	7.25	2.293	7	127.32
43-A	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.533	4.95	7.253	2.267	7	155.62
44-A	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.557	4.947	7.233	2.283	14	189.57
45-A	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.55	4.933	7.25	2.293	14	190.99
46-A	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.533	4.95	7.253	2.267	14	190.99
47-A	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.557	4.947	7.233	2.283	28	209.38
48-A	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.55	4.933	7.25	2.293	28	212.21

Fuente: Elaboración propia

Tabla 55

Resultados del ensayo de la resistencia a la compresión del concreto $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$

N° DE PROBETA	MF ARENA	PE ARENA	MF PIEDRA	PE PIEDRA	TMN	AGUA LT	ARENA KG	PIEDRA KG	CEMENTO KG	EDAD DIAS	FC DE LABORATORIO Kg/cm ²
1-B	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.535	4.491	7.24	2.872	7	180.3751804
2-B	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.523	4.491	7.242	2.873	7	198.0590216
3-B	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.51	4.492	7.238	2.87	7	172.5942902
4-B	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.5	4.493	7.243	2.88	7	187.4487169
5-B	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.547	4.488	7.247	2.868	7	199.4737289
6-B	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.54	4.487	7.23	2.87	7	169.7648756
7-B	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.535	4.491	7.24	2.872	14	234.8414113
8-B	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.523	4.491	7.242	2.873	14	212.2060946
9-B	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.51	4.492	7.238	2.87	14	212.2060946
10-B	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.5	4.493	7.243	2.88	14	230.5972894
11-B	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.547	4.488	7.247	2.868	14	230.5972894
12-B	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.54	4.487	7.23	2.87	14	239.0855332
13-B	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.535	4.491	7.24	2.872	28	256.0620208
14-B	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.523	4.491	7.242	2.873	28	241.9149478
15-B	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.51	4.492	7.238	2.87	28	254.6473135
16-B	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.5	4.493	7.243	2.88	28	284.3561667
17-B	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.547	4.488	7.247	2.868	28	277.2826302
18-B	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.54	4.487	7.23	2.87	28	273.0385083
19-B	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.538	4.492	7.243	2.872	7	179.6678267
20-B	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.54	4.493	7.238	2.875	7	200.8884362
21-B	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.55	4.49	7.24	2.868	7	205.1325581
22-B	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.533	4.493	7.243	2.87	7	199.4737289
23-B	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.537	4.49	7.243	2.87	7	198.0590216
24-B	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.538	4.492	7.243	2.872	14	253.2326062
25-B	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.54	4.493	7.238	2.875	14	213.6208019

26-B	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.55	4.49	7.24	2.868	14	212.2060946
27-B	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.533	4.493	7.243	2.87	14	248.9884843
28-B	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.537	4.49	7.243	2.87	14	247.573777
29-B	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.538	4.492	7.243	2.872	28	256.0620208
30-B	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.54	4.493	7.238	2.875	28	260.3061427
31-B	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.55	4.49	7.24	2.868	28	274.4532156
32-B	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.533	4.493	7.243	2.87	28	268.7943864
33-B	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.537	4.49	7.243	2.87	28	264.5502646
34-B	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.527	4.492	7.243	2.872	7	204.4252044
35-B	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.54	4.491	7.242	2.868	7	216.4502165
36-B	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.527	4.49	7.238	2.875	7	198.0590216
37-B	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.523	4.49	7.237	2.875	7	198.7663752
38-B	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.533	4.493	7.243	2.87	7	217.8649237
39-B	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.527	4.492	7.243	2.872	14	229.1825821
40-B	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.54	4.491	7.242	2.868	14	246.1590697
41-B	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.527	4.49	7.238	2.875	14	222.1090456
42-B	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.523	4.49	7.237	2.875	14	251.8178989
43-B	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.533	4.493	7.243	2.87	14	224.9384602
44-B	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.527	4.492	7.243	2.872	28	270.2090937
45-B	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.54	4.491	7.242	2.868	28	260.3061427
46-B	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.527	4.49	7.238	2.875	28	268.7943864
47-B	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.523	4.49	7.237	2.875	28	264.5502646
48-B	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.533	4.493	7.243	2.87	28	264.5502646

Fuente: Elaboración propia

Tabla 56

Resultados del ensayo de la resistencia a la compresión del concreto $f'_c = 250 \text{ Kg/cm}^2$

Nº DE PROBETA	MF ARENA	PE ARENA	MF PIEDRA	PE PIEDRA	TMN	AGUA LT	ARENA KG	PIEDRA KG	CEMENTO KG	EDAD DIAS	FC DE LABORATORIO Kg/cm ²
1-C	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.537	4.49	7.243	2.87	7	188.5804827
2-C	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.523	4.493	7.24	2.867	7	187.4487169
3-C	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.535	4.492	7.242	2.869	7	181.082534
4-C	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.536	4.491	7.242	2.87	7	193.8148997
5-C	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.535	4.491	7.242	2.868	7	192.4001924
6-C	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.537	4.49	7.243	2.87	14	239.0855332
7-C	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.523	4.493	7.24	2.867	14	216.4502165
8-C	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.535	4.492	7.242	2.869	14	220.6943383
9-C	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.536	4.491	7.242	2.87	14	217.8649237
10-C	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.535	4.491	7.242	2.868	14	224.9384602
11-C	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.537	4.49	7.243	2.87	28	257.4767281
12-C	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.523	4.493	7.24	2.867	28	256.0620208
13-C	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.535	4.492	7.242	2.869	28	243.3296551
14-C	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.536	4.491	7.242	2.87	28	246.1590697
15-C	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.535	4.491	7.242	2.868	28	250.4031916
16-C	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.535	4.492	7.243	2.87	7	181.082534
17-C	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.537	4.493	7.242	2.87	7	186.7413632
18-C	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.543	4.492	7.243	2.867	7	190.9854851
19-C	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.533	4.491	7.242	2.883	7	185.3266559
20-C	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.537	4.491	7.243	2.873	7	192.4001924
21-C	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.535	4.492	7.243	2.87	14	237.6708259
22-C	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.537	4.493	7.242	2.87	14	212.2060946
23-C	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.543	4.492	7.243	2.867	14	217.8649237
24-C	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.533	4.491	7.242	2.883	14	224.9384602

25-C	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.537	4.491	7.243	2.873	14	226.3531675
26-C	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.535	4.492	7.243	2.87	28	246.1590697
27-C	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.543	4.492	7.243	2.867	28	282.9414594
28-C	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.533	4.491	7.242	2.883	28	246.1590697
29-C	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.537	4.491	7.243	2.873	28	247.573777
30-C	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.537	4.491	7.242	2.867	28	251.8178989
31-C	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.533	4.49	7.243	2.87	7	187.4487169
32-C	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.54	4.493	7.233	2.867	7	187.4487169
33-C	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.543	4.492	7.25	2.873	7	192.4001924
34-C	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.537	4.493	7.243	2.87	7	205.1325581
35-C	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.533	4.483	7.247	2.87	7	212.2060946
36-C	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.537	4.491	7.242	2.867	7	205.1325581
37-C	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.533	4.49	7.243	2.87	14	232.0119967
38-C	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.54	4.493	7.233	2.867	14	232.0119967
39-C	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.543	4.492	7.25	2.873	14	250.4031916
40-C	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.537	4.493	7.243	2.87	14	250.4031916
41-C	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.533	4.483	7.247	2.87	14	217.8649237
42-C	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.537	4.491	7.242	2.867	14	216.4502165
43-C	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.533	4.49	7.243	2.87	28	248.9884843
44-C	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.54	4.493	7.233	2.867	28	257.4767281
45-C	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.543	4.492	7.25	2.873	28	246.1590697
46-C	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.533	4.483	7.247	2.87	28	250.4031916
47-C	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.53	4.483	7.247	2.87	28	270.2090937
48-C	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.533	4.482	7.247	2.87	28	256.0620208

Fuente: Elaboración propia

Tabla 57

Resultados del ensayo de la resistencia a la compresión del concreto $f'_c = 280 \text{ Kg/cm}^2$

N° DE PROBETA	MF ARENA	PE ARENA	MF PIEDRA	PE PIEDRA	TMN	AGUA LT	ARENA KG	PIEDRA KG	CEMENTO KG	EDAD DIAS	FC DE LABORATORIO Kg/cm ²
1-D	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.53	4.303	7.24	3.107	7	206.5472654
2-D	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.527	4.317	7.233	3.117	7	212.2060946
3-D	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.533	4.3	7.25	3.1	7	235.548765
4-D	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.533	4.303	7.242	3.108	7	200.8884362
5-D	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.53	4.303	7.24	3.107	14	246.1590697
6-D	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.527	4.317	7.233	3.117	14	263.1355573
7-D	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.533	4.3	7.25	3.1	14	240.5002405
8-D	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.533	4.303	7.242	3.108	14	269.5017401
9-D	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.53	4.303	7.24	3.107	28	282.9414594
10-D	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.527	4.317	7.233	3.117	28	275.8679229
11-D	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.533	4.3	7.25	3.1	28	281.5267521
12-D	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.533	4.303	7.242	3.108	28	281.5267521
13-D	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.533	4.303	7.24	3.108	7	203.7178508
14-D	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.533	4.317	7.237	3.109	7	217.8649237
15-D	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.517	4.3	7.233	3.109	7	210.7913873
16-D	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.523	4.31	7.243	3.105	7	188.16
17-D	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.53	4.313	7.247	3.108	7	203.0104971
18-D	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.533	4.303	7.24	3.108	14	243.3296551
19-D	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.533	4.317	7.237	3.109	14	240.50
20-D	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.517	4.3	7.233	3.109	14	254.6473135
21-D	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.523	4.31	7.243	3.105	14	261.72085
22-D	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.53	4.313	7.247	3.108	14	254.6473135
23-D	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.533	4.303	7.24	3.108	28	297.0885324
24-D	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.533	4.317	7.237	3.109	28	294.2591178
25-D	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.517	4.3	7.233	3.109	28	294.2591178

26-D	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.523	4.31	7.243	3.105	28	297.0885324
27-D	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.53	4.313	7.247	3.108	28	298.5032397
28-D	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.533	4.303	7.243	3.107	7	232.0119967
29-D	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.53	4.307	7.247	3.117	7	230.5972894
30-D	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.532	4.303	7.233	3.11	7	229.1825821
31-D	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.531	4.307	7.243	3.113	7	222.8163993
32-D	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.533	4.307	7.25	3.117	7	222.8163993
33-D	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.53	4.31	7.233	3.113	7	233.426704
34-D	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.532	4.313	7.247	3.1	7	229.1825821
35-D	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.533	4.303	7.243	3.107	14	248.9884843
36-D	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.53	4.307	7.247	3.117	14	251.1105452
37-D	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.532	4.303	7.233	3.11	14	244.7443624
38-D	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.531	4.307	7.243	3.113	14	253.2326062
39-D	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.533	4.307	7.25	3.117	14	240.5002405
40-D	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.53	4.31	7.233	3.113	14	251.8178989
41-D	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.532	4.313	7.247	3.1	14	243.3296551
42-D	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.533	4.303	7.243	3.107	28	275.8679229
43-D	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.532	4.303	7.233	3.11	28	319.7238491
44-D	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.532	4.303	7.233	3.11	28	274.4532156
45-D	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.531	4.307	7.243	3.113	28	271.623801
46-D	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.533	4.307	7.25	3.117	28	271.623801
47-D	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.53	4.31	7.233	3.113	28	280.1120448
48-D	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.532	4.313	7.247	3.1	28	282.9414594

Fuente: Elaboración propia

Tabla 58

Resultados del ensayo de la resistencia a la compresión del concreto $f'_c = 310 \text{ Kg/cm}^2$

Nº DE PROBETA	MF ARENA	PE ARENA	MF PIEDRA	PE PIEDRA	TMN	AGUA LT	ARENA KG	PIEDRA KG	CEMENTO KG	EDAD DIAS	FC DE LABORATORIO Kg/cm ²
1-E	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.531	4.137	7.243	3.317	7	209.5119
2-E	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.527	4.133	7.24	3.317	7	204.7493
3-E	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.523	4.137	7.243	3.313	7	206.5472654
4-E	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.527	4.14	7.242	3.32	7	208.6693263
5-E	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.523	4.133	7.242	3.317	7	212.2060946
6-E	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.531	4.137	7.243	3.317	14	260.3061427
7-E	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.527	4.133	7.24	3.317	14	258.8914354
8-E	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.523	4.137	7.243	3.313	14	263.1355573
9-E	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.527	4.14	7.242	3.32	14	268.7943864
10-E	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.523	4.133	7.242	3.317	14	264.5502646
11-E	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.531	4.137	7.243	3.317	28	308.4061908
12-E	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.527	4.133	7.24	3.317	28	311.2356054
13-E	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.523	4.137	7.243	3.313	28	304.1620689
14-E	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.527	4.14	7.242	3.32	28	311.2356054
15-E	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.523	4.133	7.242	3.317	28	306.9914835
16-E	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.53	4.137	7.24	3.32	7	217.8649237
17-E	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.527	4.133	7.247	3.313	7	212.2060946
18-E	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.530	4.130	7.242	3.313	7	233.426704
19-E	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.531	4.14	7.24	3.313	7	209.37668
20-E	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.53	4.137	7.243	3.3	7	212.2060946
21-E	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.53	4.137	7.24	3.32	14	263.1355573
22-E	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.527	4.133	7.247	3.313	14	271.623801
23-E	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.532	4.15	7.243	3.317	14	267.3796791
24-E	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.531	4.14	7.24	3.313	14	277.2826302
25-E	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.53	4.137	7.243	3.3	14	267.3796791

26-E	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.53	4.137	7.24	3.32	28	312.6503127
27-E	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.527	4.133	7.247	3.313	28	309.8208981
28-E	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.532	4.15	7.243	3.317	28	311.2356054
29-E	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.531	4.14	7.24	3.313	28	319.7238491
30-E	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.53	4.137	7.243	3.3	28	314.0650199
31-E	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.532	4.137	7.24	3.317	7	203.7178508
32-E	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.527	4.133	7.243	3.313	7	205.8399117
33-E	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.533	4.14	7.233	3.31	7	220.6943383
34-E	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.531	4.138	7.237	3.317	7	215.0355092
35-E	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.532	4.14	7.24	3.313	7	212.2060946
36-E	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.527	4.133	7.233	3.317	7	213.6208019
37-E	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.530	4.133	7.230	3.320	14	295.6738251
38-E	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.527	4.133	7.243	3.313	14	274.4532156
39-E	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.533	4.14	7.233	3.31	14	271.623801
40-E	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.531	4.138	7.237	3.317	14	278.6973375
41-E	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.532	4.14	7.24	3.313	14	268.7943864
42-E	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.527	4.133	7.233	3.317	14	270.2090937
43-E	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.532	4.137	7.24	3.317	28	319.7238491
44-E	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.527	4.133	7.243	3.313	28	304.1620689
45-E	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.533	4.14	7.233	3.31	28	312.6503127
46-E	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.531	4.138	7.237	3.317	28	311.2356054
47-E	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.532	4.14	7.24	3.313	28	302.7473616
48-E	2.87	2.47	7.03	2.63	¾"	1.527	4.133	7.233	3.317	28	311.2356054

Fuente: Elaboración propia

E-2: ENSAYO DE CALIDAD DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

Tabla 59

Ensayo de calidad del concreto en estado fresco $f'c = 175 \text{ Kg/cm}^2$

Nº DE PROBETA	PESO DE MUESTRA + MOLDE (KG)	PESO DE MOLDE (KG)	PESO DE LA MUESTRA (KG)	DIAMETRO (CM)	ALTURA (CM)	PESO UNITARIO (gr / cm ³)	PESO UNITARIO PROMEDIO DE TANDA	PESO POR TANDA	RENDIMIENTO	FACTOR CEMENTO
1-A	20.660	7.710	12.950	15.00	30.00	2.44	2.3772	32.06 Kg	0.013 m3	74.14
2-A	20.310	8.055	12.255	15.00	30.00	2.31				
3-A	21.265	8.225	13.040	15.00	30.00	2.46	2.4239	32.06 Kg	0.013 m3	75.60
4-A	20.300	7.640	12.660	15.00	30.00	2.39				
5-A	21.165	8.185	12.980	15.00	30.00	2.45	2.4559	32.06 Kg	0.013 m3	76.60
6-A	21.270	8.210	13.060	15.00	30.00	2.46				
7-A	20.460	7.620	12.840	15.00	30.00	2.42	2.4338	32.06 Kg	0.013 m3	75.90
8-A	21.140	8.175	12.965	15.00	30.00	2.45				
9-A	21.140	8.180	12.960	15.00	30.00	2.44	2.4625	32.06 Kg	0.013 m3	76.80
10-A	21.320	8.170	13.150	15.00	30.00	2.48				
11-A	21.085	8.190	12.895	15.00	30.00	2.43	2.4215	32.06 Kg	0.013 m3	75.52
12-A	20.820	8.040	12.780	15.00	30.00	2.41				
13-A	21.500	8.205	13.295	15.00	30.00	2.51	2.4979	32.06 Kg	0.013 m3	77.90
14-A	21.370	8.180	13.190	15.00	30.00	2.49				
15-A	21.390	8.200	13.185	15.00	30.00	2.49	2.4875	32.06 Kg	0.013 m3	77.58
16-A	21.385	8.210	13.190	15.00	30.00	2.49				
17-A	21.400	8.225	12.820	15.00	30.00	2.42	2.3635	32.06 Kg	0.014 m3	73.71
18-A	21.045	8.190	12.240	15.00	30.00	2.31				
19-A	20.430	7.640	13.480	15.00	30.00	2.54	2.4408	32.06 Kg	0.013 m3	76.12
20-A	21.120	8.180	12.400	15.00	30.00	2.34				
21-A	20.580	7.620	13.655	15.00	30.00	2.58	2.5017	32.06 Kg	0.013 m3	78.02

22-A	21.275	8.185	12.870	15.00	30.00	2.43				
23-A	21.055	8.125	12.295	15.00	30.00	2.32				
24-A	20.420	8.055	12.365	15.00	30.00	2.33	2.3258	32.06 Kg	0.014 m3	72.54
25-A	20.840	7.710	13.130	15.00	30.00	2.48				
26-A	21.545	8.205	13.340	15.00	30.00	2.52	2.4965	32.06 Kg	0.013 m3	77.86
27-A	21.110	8.180	12.930	15.00	30.00	2.44				
28-A	21.090	8.125	12.965	15.00	30.00	2.45	2.4423	32.06 Kg	0.013 m3	76.17
29-A	20.420	7.640	12.780	15.00	30.00	2.41				
30-A	21.030	8.190	12.840	15.00	30.00	2.42	2.4163	32.06 Kg	0.013 m3	75.36
31-A	21.225	8.210	13.015	15.00	30.00	2.45				
32-A	20.310	7.620	12.690	15.00	30.00	2.39	2.4243	32.06 Kg	0.013 m3	75.61
33-A	20.955	8.175	12.780	15.00	30.00	2.41				
34-A	21.210	8.225	12.985	15.00	30.00	2.45	2.4300	32.06 Kg	0.013 m3	75.79
35-A	21.225	8.185	13.040	15.00	30.00	2.46				
36-A	20.625	7.710	12.915	15.00	30.00	2.44	2.4479	32.06 Kg	0.013 m3	76.35
37-A	21.180	8.180	13.000	15.00	30.00	2.45				
38-A	20.690	8.055	12.635	15.00	30.00	2.38	2.4177	32.06 Kg	0.013 m3	75.40
39-A	21.175	8.180	12.995	15.00	30.00	2.45				
40-A	20.395	8.040	12.355	15.00	30.00	2.33	2.3909	32.06 Kg	0.013 m3	74.57
41-A	20.680	8.055	12.625	15.00	30.00	2.38				
42-A	21.200	8.185	13.015	15.00	30.00	2.45	2.4182	32.06 Kg	0.013 m3	75.42
43-A	20.305	7.620	12.685	15.00	30.00	2.39				
44-A	20.950	8.175	12.775	15.00	30.00	2.41	2.4012	32.06 Kg	0.013 m3	74.89
45-A	20.615	7.710	12.905	15.00	30.00	2.43				
46-A	21.530	8.205	13.325	15.00	30.00	2.51	2.4739	32.06 Kg	0.013 m3	77.15
47-A	20.990	8.180	12.810	15.00	30.00	2.42				
48-A	20.570	7.620	12.950	15.00	30.00	2.44	2.4295	32.06 Kg	0.013 m3	75.77

Fuente: Elaboración propia

Tabla 60

Ensayo de calidad del concreto en estado fresco $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$

N° DE PROBETA	PESO DE MUESTRA + MOLDE (KG)	PESO DE MOLDE (KG)	PESO DE LA MUESTRA (KG)	DIAMETRO (CM)	ALTURA (CM)	PESO UNITARIO (gr / cm ³)	PESO UNITARIO PROMEDIO DE TANDA	PESO POR TANDA	RENDIMIENTO	FACTOR CEMENTO
1-B	21.270	8.225	13.045	15.00	30.00	2.46	2.4470	32.28 Kg	0.013 m3	75.81
2-B	21.085	8.185	12.900	15.00	30.00	2.43		32.28 Kg	0.013 m3	74.32
3-B	21.345	8.205	13.140	15.00	30.00	2.48		32.28 Kg	0.013 m3	74.75
4-B	20.350	8.055	12.295	15.00	30.00	2.32	2.4130	32.28 Kg	0.013 m3	74.75
5-B	20.995	8.125	12.870	15.00	30.00	2.43		32.28 Kg	0.013 m3	74.75
6-B	20.355	7.640	12.715	15.00	30.00	2.40		32.28 Kg	0.013 m3	75.21
7-B	21.025	8.180	12.845	15.00	30.00	2.42	2.4276	32.28 Kg	0.013 m3	75.21
8-B	20.605	7.710	12.895	15.00	30.00	2.43		32.28 Kg	0.013 m3	75.24
9-B	21.120	8.210	12.910	15.00	30.00	2.44		32.28 Kg	0.013 m3	75.24
10-B	20.460	7.620	12.840	15.00	30.00	2.42	2.4286	32.28 Kg	0.013 m3	75.24
11-B	21.150	8.180	12.970	15.00	30.00	2.45		32.28 Kg	0.013 m3	75.75
12-B	21.125	8.170	12.955	15.00	30.00	2.44		32.28 Kg	0.013 m3	75.75
13-B	20.970	8.190	12.780	15.00	30.00	2.41	2.4451	32.28 Kg	0.013 m3	75.07
14-B	21.090	8.175	12.915	15.00	30.00	2.44		32.28 Kg	0.013 m3	75.07
15-B	20.600	8.040	12.560	15.00	30.00	2.37		32.28 Kg	0.014 m3	71.98
16-B	20.325	8.250	12.075	15.00	30.00	2.28	2.3234	32.28 Kg	0.014 m3	71.98
17-B	21.115	8.180	12.935	15.00	30.00	2.44		32.28 Kg	0.013 m3	74.72
18-B	20.905	8.265	12.640	15.00	30.00	2.38		32.28 Kg	0.013 m3	74.72
19-B	21.335	8.185	13.150	15.00	30.00	2.48	2.4121	32.28 Kg	0.013 m3	76.05
20-B	20.525	7.645	12.880	15.00	30.00	2.43		32.28 Kg	0.013 m3	76.05
21-B	21.450	8.265	13.185	15.00	30.00	2.49		32.28 Kg	0.013 m3	76.29
22-B	21.150	8.225	12.925	15.00	30.00	2.44	2.4625	32.28 Kg	0.013 m3	76.29
23-B	20.050	8.055	11.995	15.00	30.00	2.26		32.28 Kg	0.013 m3	74.20

24-B	21.605	8.205	13.400	15.00	30.00	2.53				
25-B	20.315	8.055	12.260	15.00	30.00	2.31	2.3649	32.28 Kg	0.014 m3	73.26
26-B	21.070	8.255	12.815	15.00	30.00	2.42				
27-B	20.300	7.620	12.680	15.00	30.00	2.39	2.3956	32.28 Kg	0.013 m3	74.21
28-B	20.900	8.180	12.720	15.00	30.00	2.40				
29-B	21.385	8.170	13.215	15.00	30.00	2.49	2.4904	32.28 Kg	0.013 m3	77.15
30-B	21.400	8.210	13.190	15.00	30.00	2.49				
31-B	21.160	8.125	13.035	15.00	30.00	2.46	2.4333	32.28 Kg	0.013 m3	75.38
32-B	21.020	8.255	12.765	15.00	30.00	2.41				
33-B	20.100	8.055	12.045	15.00	30.00	2.27	2.3512	32.28 Kg	0.014 m3	72.84
34-B	21.140	8.255	12.885	15.00	30.00	2.43				
35-B	21.535	8.185	13.350	15.00	30.00	2.52	2.5229	32.28 Kg	0.013 m3	78.16
36-B	21.605	8.205	13.400	15.00	30.00	2.53				
37-B	21.285	8.125	13.160	15.00	30.00	2.48	2.3998	32.28 Kg	0.013 m3	74.34
38-B	20.340	8.055	12.285	15.00	30.00	2.32				
39-B	20.630	8.055	12.575	15.00	30.00	2.37	2.4144	32.28 Kg	0.013 m3	74.80
40-B	21.290	8.265	13.025	15.00	30.00	2.46				
41-B	21.400	8.210	13.190	15.00	30.00	2.49	2.4842	32.28 Kg	0.013 m3	76.96
42-B	21.320	8.170	13.150	15.00	30.00	2.48				
43-B	20.700	8.180	12.520	15.00	30.00	2.36	2.3937	32.28 Kg	0.013 m3	74.15
44-B	20.505	7.645	12.860	15.00	30.00	2.43				
45-B	20.505	8.250	12.255	15.00	30.00	2.31	2.3810	32.28 Kg	0.014 m3	73.76
46-B	21.170	8.180	12.990	15.00	30.00	2.45				
47-B	21.535	8.225	13.310	15.00	30.00	2.51	2.4569	32.28 Kg	0.013 m3	76.11
48-B	20.950	8.210	12.740	15.00	30.00	2.40				

Fuente: Elaboración propia

Tabla 61

Ensayo de calidad del concreto en estado fresco $f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$

Nº DE PROBETA	PESO DE MUESTRA + MOLDE (KG)	PESO DE MOLDE (KG)	PESO DE LA MUESTRA (KG)	DIAMETRO (CM)	ALTURA (CM)	PESO UNITARIO (gr / cm ³)	PESO UNITARIO PROMEDIO DE TANDA	PESO POR TANDA	RENDIMIENTO	FACTOR CEMENTO
1-C	20.530	7.710	12.820	15.00	30.00	2.42				
2-C	20.210	8.055	12.155	15.00	30.00	2.29	2.3555	32.28 Kg	0.014 m3	72.97
3-C	21.140	8.225	12.915	15.00	30.00	2.44				
4-C	20.450	7.640	12.810	15.00	30.00	2.42	2.4262	32.28 Kg	0.013 m3	75.16
5-C	21.085	8.185	12.900	15.00	30.00	2.43				
6-C	21.170	8.210	12.960	15.00	30.00	2.44	2.4390	32.28 Kg	0.013 m3	75.56
7-C	20.250	7.620	12.630	15.00	30.00	2.38				
8-C	21.155	8.175	12.980	15.00	30.00	2.45	2.4154	32.28 Kg	0.013 m3	74.83
9-C	21.125	8.180	12.945	15.00	30.00	2.44				
10-C	21.250	8.170	13.080	15.00	30.00	2.47	2.4545	32.28 Kg	0.013 m3	76.04
11-C	21.035	8.190	12.845	15.00	30.00	2.42				
12-C	20.620	8.040	12.580	15.00	30.00	2.37	2.3979	32.28 Kg	0.013 m3	74.29
13-C	20.325	7.645	12.680	15.00	30.00	2.39				
14-C	21.350	8.265	13.085	15.00	30.00	2.47	2.4300	32.28 Kg	0.013 m3	75.28
15-C	21.025	8.255	12.770	15.00	30.00	2.41				
16-C	21.050	8.155	12.895	15.00	30.00	2.43	2.4206	32.28 Kg	0.013 m3	74.99
17-C	20.270	7.635	12.635	15.00	30.00	2.38				
18-C	20.955	8.210	12.745	15.00	30.00	2.40	2.3937	32.28 Kg	0.013 m3	74.15
19-C	21.165	8.170	12.995	15.00	30.00	2.45				
20-C	21.090	8.215	12.875	15.00	30.00	2.43	2.4399	32.28 Kg	0.013 m3	75.59
21-C	21.095	8.225	12.870	15.00	30.00	2.43				
22-C	21.120	8.125	12.995	15.00	30.00	2.45	2.4394	32.28 Kg	0.013 m3	75.57
23-C	20.605	7.700	12.905	15.00	30.00	2.43				
24-C	20.290	8.120	12.170	15.00	30.00	2.30	2.3649	32.28 Kg	0.014 m3	73.26

25-C	19.935	7.590	12.345	15.00	30.00	2.33				
26-C	21.145	8.185	12.960	15.00	30.00	2.44	2.3866	32.28 Kg	0.014 m3	73.94
27-C	20.555	7.710	12.845	15.00	30.00	2.42				
28-C	21.480	8.205	13.275	15.00	30.00	2.50	2.4635	32.28 Kg	0.013 m3	76.32
29-C	20.530	7.640	12.890	15.00	30.00	2.43				
30-C	20.825	8.180	12.645	15.00	30.00	2.39	2.4083	32.28 Kg	0.013 m3	74.61
31-C	21.240	8.210	13.030	15.00	30.00	2.46				
32-C	20.615	7.710	12.905	15.00	30.00	2.43	2.4460	32.28 Kg	0.013 m3	75.78
33-C	19.825	7.590	12.235	15.00	30.00	2.31				
34-C	20.350	8.120	12.230	15.00	30.00	2.31	2.3074	32.28 Kg	0.014 m3	71.48
35-C	20.515	7.700	12.815	15.00	30.00	2.42				
36-C	20.450	7.645	12.805	15.00	30.00	2.42	2.4163	32.28 Kg	0.013 m3	74.86
37-C	21.150	8.225	12.925	15.00	30.00	2.44				
38-C	21.020	8.155	12.865	15.00	30.00	2.43	2.4324	32.28 Kg	0.013 m3	75.35
39-C	21.105	8.215	12.890	15.00	30.00	2.43				
40-C	21.040	8.185	12.855	15.00	30.00	2.42	2.4281	32.28 Kg	0.013 m3	75.22
41-C	21.160	8.170	12.990	15.00	30.00	2.45				
42-C	21.150	8.265	12.885	15.00	30.00	2.43	2.4404	32.28 Kg	0.013 m3	75.60
43-C	21.100	8.180	12.920	15.00	30.00	2.44				
44-C	21.385	8.205	13.180	15.00	30.00	2.49	2.4616	32.28 Kg	0.013 m3	76.26
45-C	20.290	7.635	12.655	15.00	30.00	2.39				
46-C	21.145	8.125	13.020	15.00	30.00	2.46	2.4215	32.28 Kg	0.013 m3	75.02
47-C	20.335	7.640	12.695	15.00	30.00	2.39				
48-C	20.990	8.255	12.735	15.00	30.00	2.40	2.3984	32.28 Kg	0.013 m3	74.30

Fuente: Elaboración propia

Tabla 62

Ensayo de calidad del concreto en estado fresco $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$

Nº DE PROBETA	PESO DE MUESTRA + MOLDE (KG)	PESO DE MOLDE (KG)	PESO DE LA MUESTRA (KG)	DIAMETRO (CM)	ALTURA (CM)	PESO UNITARIO (gr / cm ³)	PESO UNITARIO PROMEDIO DE TANDA	PESO POR TANDA	RENDIMIENTO	FACTOR CEMENTO
1-D	21.200	8.125	13.075	15.00	30.00	2.47	2.3899	32.38 Kg	0.014 m3	73.82
2-D	20.385	8.120	12.265	15.00	30.00	2.31		32.38 Kg	0.014 m3	73.19
3-D	20.390	7.620	12.770	15.00	30.00	2.41		32.38 Kg	0.014 m3	73.19
4-D	20.410	8.055	12.355	15.00	30.00	2.33	2.3696	32.38 Kg	0.014 m3	73.19
5-D	21.170	8.210	12.960	15.00	30.00	2.44		32.38 Kg	0.013 m3	74.89
6-D	20.930	8.180	12.750	15.00	30.00	2.41		32.38 Kg	0.013 m3	74.89
7-D	21.115	8.265	12.850	15.00	30.00	2.42	2.4248	32.38 Kg	0.013 m3	75.38
8-D	21.195	8.170	13.025	15.00	30.00	2.46		32.38 Kg	0.013 m3	75.38
9-D	20.905	8.255	12.650	15.00	30.00	2.39		32.38 Kg	0.013 m3	75.32
10-D	21.410	8.205	13.205	15.00	30.00	2.49	2.4385	32.38 Kg	0.013 m3	75.32
11-D	21.255	8.185	13.070	15.00	30.00	2.47		32.38 Kg	0.013 m3	77.18
12-D	21.045	7.620	13.425	15.00	30.00	2.53		32.38 Kg	0.013 m3	77.18
13-D	20.400	7.620	12.780	15.00	30.00	2.41	2.4988	32.38 Kg	0.013 m3	74.20
14-D	20.945	8.255	12.690	15.00	30.00	2.39		32.38 Kg	0.013 m3	74.20
15-D	21.330	8.205	13.125	15.00	30.00	2.48		32.38 Kg	0.013 m3	75.90
16-D	21.100	8.170	12.930	15.00	30.00	2.44	2.4573	32.38 Kg	0.013 m3	75.90
17-D	20.310	8.055	12.255	15.00	30.00	2.31		32.38 Kg	0.014 m3	72.90
18-D	20.895	8.125	12.770	15.00	30.00	2.41		32.38 Kg	0.014 m3	72.90
19-D	21.310	8.225	13.085	15.00	30.00	2.47	2.3602	32.38 Kg	0.013 m3	75.80
20-D	20.645	7.710	12.935	15.00	30.00	2.44		32.38 Kg	0.013 m3	75.80
21-D	20.985	7.455	13.530	15.00	30.00	2.55		32.38 Kg	0.013 m3	77.09
22-D	21.145	8.210	12.935	15.00	30.00	2.44	2.4960	32.38 Kg	0.013 m3	77.09
23-D	20.305	8.120	12.185	15.00	30.00	2.30		32.38 Kg	0.014 m3	73.13
24-D	21.105	8.185	12.920	15.00	30.00	2.44		32.38 Kg	0.014 m3	73.13

25-D	21.130	8.215	12.915	15.00	30.00	2.44				
26-D	20.975	8.180	12.795	15.00	30.00	2.41	2.4248	32.38 Kg	0.013 m3	74.89
27-D	20.295	7.640	12.655	15.00	30.00	2.39				
28-D	20.270	8.055	12.215	15.00	30.00	2.30	2.3456	32.38 Kg	0.014 m3	72.45
29-D	20.970	8.255	12.715	15.00	30.00	2.40				
30-D	20.635	7.710	12.925	15.00	30.00	2.44	2.4182	32.38 Kg	0.013 m3	74.69
31-D	21.260	8.225	13.035	15.00	30.00	2.46				
32-D	20.365	7.640	12.725	15.00	30.00	2.40	2.4295	32.38 Kg	0.013 m3	75.04
33-D	20.200	8.120	12.080	15.00	30.00	2.28				
34-D	21.100	7.455	13.645	15.00	30.00	2.57	2.4262	32.38 Kg	0.013 m3	74.94
35-D	20.170	8.120	12.050	15.00	30.00	2.27				
36-D	20.995	8.125	12.870	15.00	30.00	2.43	2.3503	32.38 Kg	0.014 m3	72.59
37-D	20.400	7.620	12.780	15.00	30.00	2.41				
38-D	21.305	8.205	13.100	15.00	30.00	2.47	2.4408	32.38 Kg	0.013 m3	75.39
39-D	21.215	8.210	13.005	15.00	30.00	2.45				
40-D	21.300	8.215	13.085	15.00	30.00	2.47	2.4606	32.38 Kg	0.013 m3	76.00
41-D	20.450	7.700	12.750	15.00	30.00	2.41				
42-D	21.205	7.455	13.750	15.00	30.00	2.59	2.4993	32.38 Kg	0.013 m3	77.20
43-D	20.940	8.180	12.760	15.00	30.00	2.41				
44-D	21.245	8.215	13.030	15.00	30.00	2.46	2.4324	32.38 Kg	0.013 m3	75.13
45-D	21.240	8.185	13.055	15.00	30.00	2.46				
46-D	20.970	8.170	12.800	15.00	30.00	2.41	2.4385	32.38 Kg	0.013 m3	75.32
47-D	20.940	8.155	12.785	15.00	30.00	2.41				
48-D	20.110	7.635	12.475	15.00	30.00	2.35	2.3824	32.38 Kg	0.014 m3	73.58

Fuente: Elaboración propia

Tabla 63

Ensayo de calidad del concreto en estado fresco $f'c = 310 \text{ Kg/cm}^2$

Nº DE PROBETA	PESO DE MUESTRA + MOLDE (KG)	PESO DE MOLDE (KG)	PESO DE LA MUESTRA (KG)	DIAMETRO (CM)	ALTURA (CM)	PESO UNITARIO (gr / cm ³)	PESO UNITARIO PROMEDIO DE TANDA	PESO POR TANDA	RENDIMIENTO	FACTOR CEMENTO
1-E	20.790	7.710	13.080	15.00	30.00	2.47	2.4677	32.46 Kg	0.013 m3	76.03
2-E	21.270	8.185	13.085	15.00	30.00	2.47				
3-E	21.140	8.225	12.915	15.00	30.00	2.44				
4-E	21.195	7.445	13.750	15.00	30.00	2.59	2.5149	32.46 Kg	0.013 m3	77.49
5-E	20.390	7.620	12.770	15.00	30.00	2.41				
6-E	20.235	8.055	12.180	15.00	30.00	2.30				
7-E	20.980	8.255	12.725	15.00	30.00	2.40	2.3979	32.46 Kg	0.014 m3	73.88
8-E	20.340	7.640	12.700	15.00	30.00	2.40				
9-E	21.075	8.170	12.905	15.00	30.00	2.43				
10-E	21.185	8.120	13.065	15.00	30.00	2.46	2.4493	32.46 Kg	0.013 m3	75.47
11-E	20.980	8.215	12.765	15.00	30.00	2.41				
12-E	20.880	8.210	12.670	15.00	30.00	2.39				
13-E	21.455	8.205	13.250	15.00	30.00	2.50	2.3989	32.46 Kg	0.014 m3	73.91
14-E	20.740	8.125	12.615	15.00	30.00	2.38				
15-E	20.985	8.180	12.805	15.00	30.00	2.42				
16-E	20.960	8.125	12.835	15.00	30.00	2.42	2.4394	32.46 Kg	0.013 m3	75.16
17-E	21.160	8.210	12.950	15.00	30.00	2.44				
18-E	20.860	8.180	12.680	15.00	30.00	2.39				
19-E	21.450	8.205	13.245	15.00	30.00	2.50	2.4173	32.46 Kg	0.013 m3	74.48
20-E	21.160	8.180	12.980	15.00	30.00	2.45				
21-E	20.250	8.120	12.130	15.00	30.00	2.29				
22-E	20.395	7.640	12.755	15.00	30.00	2.41	2.4734	32.46 Kg	0.013 m3	76.21
23-E	20.875	8.170	12.705	15.00	30.00	2.40				
24-E	21.130	8.215	12.915	15.00	30.00	2.44				

25-E	20.535	7.700	12.835	15.00	30.00	2.42				
26-E	20.960	8.155	12.805	15.00	30.00	2.42	2.4182	32.46 Kg	0.013 m3	74.51
27-E	20.045	7.635	12.410	15.00	30.00	2.34				
28-E	21.195	8.225	12.970	15.00	30.00	2.45	2.3937	32.46 Kg	0.014 m3	73.75
29-E	19.890	7.590	12.300	15.00	30.00	2.32				
30-E	20.355	7.170	13.185	15.00	30.00	2.49	2.4036	32.46 Kg	0.014 m3	74.06
31-E	20.425	7.640	12.785	15.00	30.00	2.41				
32-E	21.355	8.225	13.130	15.00	30.00	2.48	2.4441	32.46 Kg	0.013 m3	75.31
33-E	20.910	8.125	12.785	15.00	30.00	2.41				
34-E	19.965	7.590	12.375	15.00	30.00	2.33	2.3729	32.46 Kg	0.014 m3	73.11
35-E	21.000	8.155	12.845	15.00	30.00	2.42				
36-E	20.455	7.645	12.810	15.00	30.00	2.42	2.4196	32.46 Kg	0.013 m3	74.55
37-E	21.010	8.180	12.830	15.00	30.00	2.42				
38-E	20.280	7.635	12.645	15.00	30.00	2.39	2.4026	32.46 Kg	0.014 m3	74.03
39-E	21.290	8.185	13.105	15.00	30.00	2.47				
40-E	20.420	7.700	12.720	15.00	30.00	2.40	2.4357	32.46 Kg	0.013 m3	75.05
41-E	21.205	8.215	12.990	15.00	30.00	2.45				
42-E	21.500	8.265	13.235	15.00	30.00	2.50	2.4734	32.46 Kg	0.013 m3	76.21
43-E	21.010	8.180	12.830	15.00	30.00	2.42				
44-E	21.220	8.205	13.015	15.00	30.00	2.45	2.4375	32.46 Kg	0.013 m3	75.10
45-E	21.200	8.170	13.030	15.00	30.00	2.46				
46-E	20.665	7.710	12.955	15.00	30.00	2.44	2.4507	32.46 Kg	0.013 m3	75.51
47-E	20.120	8.120	12.000	15.00	30.00	2.26				
48-E	21.100	8.255	12.845	15.00	30.00	2.42	2.3432	32.46 Kg	0.014 m3	72.20

Fuente: Elaboración propia

ANEXO F

F-1: PRIMER ANÁLISIS DE OUTLIERS POR MÉTODO DE GRUBBS SEGÚN DISEÑO

Tabla 64

Análisis de Outliers utilizando el método de Grubbs para un diseño de $f'c=175$ Kg/cm²

N° DE PROBETA	MF ARENA	PE ARENA	MF PIEDRA	PE PIEDRA	TMN	AGUA LT	ARENA KG	PIEDRA KG	CEMENTO KG	EDAD DIAS	FC DE LABORATORIO Kg/cm ²	GRUBS	ACEPTACION
1-A	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.54	4.952	7.242	2.297	7	151.374	0.685	OK
2-A	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.951	7.245	2.3	7	127.324	0.837	OK
3-A	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.527	4.967	7.248	2.283	7	134.397	0.390	OK
4-A	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.952	7.251	2.317	7	155.618	0.953	OK
5-A	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.54	4.952	7.242	2.297	14	183.912	0.232	OK
6-A	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.951	7.245	2.3	14	175.424	0.973	OK
7-A	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.527	4.967	7.248	2.283	14	186.741	0.634	OK
8-A	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.952	7.251	2.317	14	189.571	1.036	OK
9-A	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.54	4.952	7.242	2.297	28	226.353	1.680	OK
10-A	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.951	7.245	2.3	28	202.303	1.860	OK
11-A	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.527	4.967	7.248	2.283	28	223.524	1.263	OK
12-A	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.952	7.251	2.317	28	212.206	0.403	OK
13-A	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.543	4.95	7.243	2.297	7	155.618	0.953	OK
14-A	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.542	4.951	7.25	2.3	7	155.618	0.953	OK
15-A	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.55	4.953	7.23	2.283	7	155.618	0.953	OK
16-A	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.537	4.957	7.232	2.317	7	157.033	1.043	OK
17-A	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.517	4.957	7.232	2.317	7	141.471	0.058	OK
18-A	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.543	4.95	7.243	2.297	14	172.594	1.375	OK
19-A	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.542	4.951	7.25	2.3	14	171.180	1.575	OK

20-A	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.55	4.953	7.23	2.283	14	174.009	1.174	OK
21-A	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.537	4.957	7.232	2.317	14	179.668	0.370	OK
22-A	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.543	4.95	7.243	2.297	28	219.280	0.639	OK
23-A	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.542	4.951	7.25	2.3	28	215.036	0.014	OK
24-A	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.55	4.953	7.23	2.283	28	206.547	1.235	OK
25-A	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.537	4.957	7.232	2.317	28	215.036	0.014	OK
26-A	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.53	4.95	7.243	2.267	7	111.762	1.822	OK
27-A	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.947	7.237	2.283	7	120.250	1.285	OK
28-A	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.517	4.957	7.24	2.273	7	127.324	0.837	OK
29-A	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.5	4.96	7.233	2.3	7	157.033	1.043	OK
30-A	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.55	4.967	7.242	2.296	7	134.397	0.390	OK
31-A	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.53	4.95	7.243	2.267	14	174.009	1.174	OK
32-A	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.947	7.237	2.283	14	189.571	1.036	OK
33-A	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.517	4.957	7.24	2.273	14	182.497	0.031	OK
34-A	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.5	4.96	7.233	2.3	14	181.790	0.069	OK
35-A	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.55	4.967	7.242	2.296	14	183.912	0.232	OK
36-A	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.53	4.95	7.243	2.267	28	216.450	0.222	OK
37-A	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.947	7.237	2.283	28	223.524	1.263	OK
38-A	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.517	4.957	7.24	2.273	28	212.206	0.403	OK
39-A	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.5	4.96	7.233	2.3	28	209.377	0.819	OK
40-A	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.55	4.967	7.242	2.296	28	220.694	0.847	OK
41-A	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.557	4.947	7.233	2.283	7	121.665	1.196	OK
42-A	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.55	4.933	7.25	2.293	7	127.324	0.837	OK
43-A	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.95	7.253	2.267	7	155.618	0.953	OK
44-A	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.557	4.947	7.233	2.283	14	189.571	1.036	OK
45-A	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.55	4.933	7.25	2.293	14	190.985	1.236	OK
46-A	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.95	7.253	2.267	14	190.985	1.236	OK
47-A	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.557	4.947	7.233	2.283	28	209.377	0.819	OK

48-A	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.55	4.933	7.25	2.293	28	212.206	0.403	OK
------	------	------	------	------	------	------	-------	------	-------	----	---------	-------	----

Fuente: Elaboración propia

Tabla 65

Datos utilizados para el test de Grubbs al 95% confianza, para $f'c = 175 \text{ Kg/cm}^2$

TEST DE GRUBBS CON 95% CONFIANZA	7 DÍAS	14 DÍAS	28 DÍAS
PROMEDIO	140.555 Kg/cm ²	182.276 Kg/cm ²	214.941 Kg/cm ²
DESVIACION ESTÁNDAR	15.801 Kg/cm ²	7.044 Kg/cm ²	6.795 Kg/cm ²
N° DATOS	17	16	15
G TABLA	2.475	2.443	2.409

Fuente: Elaboración propia

Tabla 66

Análisis de Outliers utilizando el método de Grubbs para un diseño de $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$

N° DE PROBETA	MF ARENA	PE ARENA	MF PIEDRA	PE PIEDRA	TMN	AGUA LT	ARENA KG	PIEDRA KG	CEMENTO KG	EDAD DIAS	FC DE LABORATORIO (Kg/cm ²)	GRUBS	ACEPTACION
1-B	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.535	4.491	7.24	2.872	7	180.375	1.075	OK
2-B	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.523	4.491	7.242	2.873	7	198.059	0.190	OK
3-B	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.51	4.492	7.238	2.87	7	172.594	1.631	OK
4-B	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.5	4.493	7.243	2.88	7	187.449	0.569	OK
5-B	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.547	4.488	7.247	2.868	7	199.474	0.291	OK
6-B	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.54	4.487	7.23	2.87	7	169.765	1.834	OK
7-B	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.535	4.491	7.24	2.872	14	234.841	0.203	OK
8-B	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.523	4.491	7.242	2.873	14	212.206	1.322	OK
9-B	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.51	4.492	7.238	2.87	14	212.206	1.322	OK
10-B	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.5	4.493	7.243	2.88	14	230.597	0.083	OK
11-B	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.547	4.488	7.247	2.868	14	230.597	0.083	OK
12-B	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.54	4.487	7.23	2.87	14	239.086	0.488	OK
13-B	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.535	4.491	7.24	2.872	28	256.062	0.870	OK
14-B	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.523	4.491	7.242	2.873	28	241.915	2.249	OK
15-B	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.51	4.492	7.238	2.87	28	254.647	1.008	OK
16-B	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.5	4.493	7.243	2.88	28	284.356	1.887	OK
17-B	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.547	4.488	7.247	2.868	28	277.283	1.198	OK
18-B	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.54	4.487	7.23	2.87	28	273.039	0.784	OK
19-B	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.538	4.492	7.243	2.872	7	179.668	1.125	OK
20-B	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.54	4.493	7.238	2.875	7	200.888	0.392	OK
21-B	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.55	4.49	7.24	2.868	7	205.133	0.695	OK
22-B	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.493	7.243	2.87	7	199.474	0.291	OK
23-B	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.537	4.49	7.243	2.87	7	198.059	0.190	OK
24-B	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.538	4.492	7.243	2.872	14	253.233	1.441	OK

25-B	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.54	4.493	7.238	2.875	14	213.621	1.227	OK
26-B	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.55	4.49	7.24	2.868	14	212.206	1.322	OK
27-B	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.493	7.243	2.87	14	248.988	1.155	OK
28-B	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.537	4.49	7.243	2.87	14	247.574	1.060	OK
29-B	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.538	4.492	7.243	2.872	28	256.062	0.870	OK
30-B	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.54	4.493	7.238	2.875	28	260.306	0.457	OK
31-B	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.55	4.49	7.24	2.868	28	274.453	0.922	OK
32-B	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.493	7.243	2.87	28	268.794	0.370	OK
33-B	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.537	4.49	7.243	2.87	28	264.550	0.043	OK
34-B	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.527	4.492	7.243	2.872	7	204.425	0.645	OK
35-B	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.54	4.491	7.242	2.868	7	216.450	1.505	OK
36-B	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.527	4.49	7.238	2.875	7	198.059	0.190	OK
37-B	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.523	4.49	7.237	2.875	7	198.766	0.240	OK
38-B	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.493	7.243	2.87	7	217.865	1.606	OK
39-B	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.527	4.492	7.243	2.872	14	229.183	0.179	OK
40-B	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.54	4.491	7.242	2.868	14	246.159	0.965	OK
41-B	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.527	4.49	7.238	2.875	14	222.109	0.655	OK
42-B	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.523	4.49	7.237	2.875	14	251.818	1.346	OK
43-B	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.493	7.243	2.87	14	224.938	0.465	OK
44-B	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.527	4.492	7.243	2.872	28	270.209	0.508	OK
45-B	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.54	4.491	7.242	2.868	28	260.306	0.457	OK
46-B	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.527	4.49	7.238	2.875	28	268.794	0.370	OK
47-B	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.523	4.49	7.237	2.875	28	264.550	0.043	OK
48-B	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.493	7.243	2.87	28	264.550	0.043	OK

Fuente: Elaboración propia

Tabla 67

Datos utilizados para el test de Grubbs al 95% confianza, para $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$

TEST DE GRUBBS CON 95% CONFIANZA	7 DÍAS	14 DÍAS	28 DÍAS
PROMEDIO	195.41 Kg/cm^2	231.84 Kg/cm^2	264.99 Kg/cm^2
DESVIACION ESTÁNDAR	13.98 Kg/cm^2	14.85 Kg/cm^2	10.26 Kg/cm^2
N° DATOS	16	16	16
G TABLA	2.443	2.443	2.443

Fuente: Elaboración propia

Tabla 68

Análisis de Outliers utilizando el método de Grubbs para un diseño de $f'c=250 \text{ Kg/cm}^2$

N° DE PROBETA	MF ARENA	PE ARENA	MF PIEDRA	PE PIEDRA	TMN	AGUA LT	ARENA KG	PIEDRA KG	CEMENTO KG	EDAD DIAS	FC DE LABORATORIO (Kg/cm ²)	GRUBS	ACEPTACION
1-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.537	4.49	7.243	2.87	7	188.580	0.375	OK
2-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.523	4.493	7.24	2.867	7	187.449	0.505	OK
3-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.535	4.492	7.242	2.869	7	181.083	1.234	OK
4-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.536	4.491	7.242	2.87	7	193.815	0.225	OK
5-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.535	4.491	7.242	2.868	7	192.400	0.063	OK
6-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.537	4.49	7.243	2.87	14	239.086	0.984	OK
7-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.523	4.493	7.24	2.867	14	216.450	0.910	OK
8-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.535	4.492	7.242	2.869	14	220.694	0.555	OK
9-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.536	4.491	7.242	2.87	14	217.865	0.791	OK
10-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.535	4.491	7.242	2.868	14	224.938	0.200	OK
11-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.537	4.49	7.243	2.87	28	257.477	0.378	OK
12-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.523	4.493	7.24	2.867	28	256.062	0.241	OK
13-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.535	4.492	7.242	2.869	28	243.330	0.997	OK
14-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.536	4.491	7.242	2.87	28	246.159	0.722	OK
15-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.535	4.491	7.242	2.868	28	250.403	0.309	OK
16-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.535	4.492	7.243	2.87	7	181.083	1.234	OK
17-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.537	4.493	7.242	2.87	7	186.741	0.586	OK
18-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.543	4.492	7.243	2.867	7	190.985	0.099	OK
19-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.491	7.242	2.883	7	185.327	0.748	OK
20-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.537	4.491	7.243	2.873	7	192.400	0.063	OK
21-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.535	4.492	7.243	2.87	14	237.671	0.865	OK
22-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.537	4.493	7.242	2.87	14	212.206	1.265	OK
23-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.543	4.492	7.243	2.867	14	217.865	0.791	OK
24-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.491	7.242	2.883	14	224.938	0.200	OK

25-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.537	4.491	7.243	2.873	14	226.353	0.081	OK
26-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.535	4.492	7.243	2.87	28	246.159	0.722	OK
27-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.543	4.492	7.243	2.867	28	282.941	2.854	X
28-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.491	7.242	2.883	28	246.159	0.722	OK
29-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.537	4.491	7.243	2.873	28	247.574	0.585	OK
30-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.537	4.491	7.242	2.867	28	251.818	0.172	OK
31-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.49	7.243	2.87	7	187.449	0.505	OK
32-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.54	4.493	7.233	2.867	7	187.449	0.505	OK
33-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.543	4.492	7.25	2.873	7	192.400	0.063	OK
34-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.537	4.493	7.243	2.87	7	205.133	1.522	OK
35-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.483	7.247	2.87	7	212.206	2.333	OK
36-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.537	4.491	7.242	2.867	7	205.133	1.522	OK
37-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.49	7.243	2.87	14	232.012	0.392	OK
38-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.54	4.493	7.233	2.867	14	232.012	0.392	OK
39-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.543	4.492	7.25	2.873	14	250.403	1.930	OK
40-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.537	4.493	7.243	2.87	14	250.403	1.930	OK
41-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.483	7.247	2.87	14	217.865	0.791	OK
42-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.537	4.491	7.242	2.867	14	216.450	0.910	OK
43-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.49	7.243	2.87	28	248.988	0.447	OK
44-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.54	4.493	7.233	2.867	28	257.477	0.378	OK
45-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.543	4.492	7.25	2.873	28	246.159	0.722	OK
46-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.483	7.247	2.87	28	250.403	0.309	OK
47-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.53	4.483	7.247	2.87	28	270.209	1.616	OK
48-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.482	7.247	2.87	28	256.062	0.241	OK

Fuente: Elaboración propia

Tabla 69

Datos utilizados para el test de Grubbs al 95% confianza, para $f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$

TEST DE GRUBBS CON 95% CONFIANZA	7 DÍAS	14 DÍAS	28 DÍAS
PROMEDIO	191.85 Kg/cm ²	227.33 Kg/cm ²	253.59 Kg/cm ²
DESVIACION ESTÁNDAR	8.73 Kg/cm ²	11.96 Kg/cm ²	10.29 Kg/cm ²
N° DATOS	16	16	16
G TABLA	2.443	2.443	2.443

Fuente: Elaboración propia

Tabla 70

Análisis de Outliers utilizando el método de Grubbs para un diseño de $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$

N° DE PROBETA	MF ARENA	PE ARENA	MF PIEDRA	PE PIEDRA	TMN	AGUA LT	ARENA KG	PIEDRA KG	CEMENTO KG	EDAD DIAS	FC DE LABORATORIO (Kg/cm ²)	GRUBS	ACEPTACION
1-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.53	4.303	7.24	3.107	7	206.547	0.766	OK
2-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.527	4.317	7.233	3.117	7	212.206	0.368	OK
3-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.3	7.25	3.1	7	235.549	1.277	OK
4-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.303	7.242	3.108	7	200.888	1.165	OK
5-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.53	4.303	7.24	3.107	14	246.159	0.495	OK
6-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.527	4.317	7.233	3.117	14	263.136	1.446	OK
7-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.3	7.25	3.1	14	240.500	1.142	OK
8-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.303	7.242	3.108	14	269.502	2.173	OK
9-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.53	4.303	7.24	3.107	28	282.941	0.252	OK
10-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.527	4.317	7.233	3.117	28	275.868	0.798	OK
11-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.3	7.25	3.1	28	281.527	0.362	OK
12-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.303	7.242	3.108	28	281.527	0.362	OK
13-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.303	7.24	3.108	7	203.718	0.966	OK
14-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.317	7.237	3.109	7	217.865	0.031	OK
15-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.517	4.3	7.233	3.109	7	210.791	0.467	OK
16-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.523	4.31	7.243	3.105	7	188.156	2.062	OK
17-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.53	4.313	7.247	3.108	7	203.010	1.016	OK
18-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.303	7.24	3.108	14	243.330	0.819	OK
19-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.317	7.237	3.109	14	240.500	1.142	OK
20-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.517	4.3	7.233	3.109	14	254.647	0.475	OK
21-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.523	4.31	7.243	3.105	14	261.721	1.284	OK
22-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.53	4.313	7.247	3.108	14	254.647	0.475	OK
23-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.303	7.24	3.108	28	297.089	0.839	OK
24-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.317	7.237	3.109	28	294.259	0.621	OK
25-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.517	4.3	7.233	3.109	28	294.259	0.621	OK

26-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.523	4.31	7.243	3.105	28	297.089	0.839	OK
27-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.53	4.313	7.247	3.108	28	298.503	0.948	OK
28-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.303	7.243	3.107	7	232.012	1.028	OK
29-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.53	4.307	7.247	3.117	7	230.597	0.928	OK
30-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.532	4.303	7.233	3.11	7	229.183	0.829	OK
31-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.531	4.307	7.243	3.113	7	222.816	0.380	OK
32-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.307	7.25	3.117	7	222.816	0.380	OK
33-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.53	4.31	7.233	3.113	7	233.427	1.128	OK
34-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.532	4.313	7.247	3.1	7	229.183	0.829	OK
35-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.303	7.243	3.107	14	248.988	0.172	OK
36-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.53	4.307	7.247	3.117	14	251.111	0.071	OK
37-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.532	4.303	7.233	3.11	14	244.744	0.657	OK
38-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.531	4.307	7.243	3.113	14	253.233	0.313	OK
39-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.307	7.25	3.117	14	240.500	1.142	OK
40-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.53	4.31	7.233	3.113	14	251.818	0.152	OK
41-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.532	4.313	7.247	3.1	14	243.330	0.819	OK
42-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.303	7.243	3.107	28	275.868	0.798	OK
43-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.532	4.303	7.233	3.11	28	319.724	2.585	X
44-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.532	4.303	7.233	3.11	28	274.453	0.907	OK
45-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.531	4.307	7.243	3.113	28	271.624	1.125	OK
46-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.307	7.25	3.117	28	271.624	1.125	OK
47-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.53	4.31	7.233	3.113	28	280.112	0.471	OK
48-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.532	4.313	7.247	3.1	28	282.941	0.252	OK

Fuente: Elaboración propia

Tabla 71

Datos utilizados para el test de Grubbs al 95% confianza, para $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$

TEST DE GRUBBS CON 95% CONFIANZA	7 DÍAS	14 DÍAS	28 DÍAS
PROMEDIO	217.42 Kg/cm ²	250.49 Kg/cm ²	286.21 Kg/cm ²
DESVIACION ESTÁNDAR	14.19 Kg/cm ²	8.75 Kg/cm ²	12.96 Kg/cm ²
N° DATOS	16	16	16
G TABLA	2.443	2.443	2.443

Fuente: Elaboración propia

Tabla 72

Análisis de Outliers utilizando el método de Grubbs para un diseño de $f'c=310 \text{ Kg/cm}^2$

N° DE PROBETA	MF ARENA	PE ARENA	MF PIEDRA	PE PIEDRA	TMN	AGUA LT	ARENA KG	PIEDRA KG	CEMENTO KG	EDAD DIAS	FC DE LABORATORIO (Kg/cm ²)	GRUBS	ACEPTACION
1-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.531	4.137	7.243	3.317	7	209.512	0.393	OK
2-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.527	4.133	7.24	3.317	7	204.749	1.048	OK
3-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.523	4.137	7.243	3.313	7	206.547	0.801	OK
4-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.527	4.14	7.242	3.32	7	208.669	0.509	OK
5-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.523	4.133	7.242	3.317	7	212.206	0.022	OK
6-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.531	4.137	7.243	3.317	14	260.306	1.111	OK
7-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.527	4.133	7.24	3.317	14	258.891	1.271	OK
8-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.523	4.137	7.243	3.313	14	263.136	0.791	OK
9-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.527	4.14	7.242	3.32	14	268.794	0.150	OK
10-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.523	4.133	7.242	3.317	14	264.550	0.631	OK
11-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.531	4.137	7.243	3.317	28	308.406	0.475	OK
12-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.527	4.133	7.24	3.317	28	311.236	0.110	OK
13-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.523	4.137	7.243	3.313	28	304.162	1.351	OK
14-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.527	4.14	7.242	3.32	28	311.236	0.110	OK
15-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.523	4.133	7.242	3.317	28	306.991	0.767	OK
16-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.53	4.137	7.24	3.32	7	217.865	0.757	OK
17-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.527	4.133	7.247	3.313	7	212.206	0.022	OK
18-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.53	4.13	7.242	3.313	7	233.427	2.898	X
19-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.531	4.14	7.24	3.313	7	209.377	0.412	OK
20-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.53	4.137	7.243	3.3	7	212.206	0.022	OK
21-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.53	4.137	7.24	3.32	14	263.136	0.791	OK
22-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.527	4.133	7.247	3.313	14	271.624	0.170	OK
23-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.532	4.15	7.243	3.317	14	267.380	0.310	OK
24-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.531	4.14	7.24	3.313	14	277.283	0.811	OK

25-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.53	4.137	7.243	3.3	14	267.380	0.310	OK
26-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.53	4.137	7.24	3.32	28	312.650	0.402	OK
27-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.527	4.133	7.247	3.313	28	309.821	0.183	OK
28-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.532	4.15	7.243	3.317	28	311.236	0.110	OK
29-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.531	4.14	7.24	3.313	28	319.724	1.862	OK
30-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.53	4.137	7.243	3.3	28	314.065	0.694	OK
31-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.532	4.137	7.24	3.317	7	203.718	1.190	OK
32-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.527	4.133	7.243	3.313	7	205.840	0.898	OK
33-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.14	7.233	3.31	7	220.694	1.146	OK
34-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.531	4.138	7.237	3.317	7	215.036	0.367	OK
35-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.532	4.14	7.24	3.313	7	212.206	0.022	OK
36-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.527	4.133	7.233	3.317	7	213.621	0.172	OK
37-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.53	4.133	7.23	3.32	14	295.674	2.892	X
38-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.527	4.133	7.243	3.313	14	274.453	0.490	OK
39-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.14	7.233	3.31	14	271.624	0.170	OK
40-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.531	4.138	7.237	3.317	14	278.697	0.971	OK
41-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.532	4.14	7.24	3.313	14	268.794	0.150	OK
42-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.527	4.133	7.233	3.317	14	270.209	0.010	OK
43-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.532	4.137	7.24	3.317	28	319.724	1.862	OK
44-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.527	4.133	7.243	3.313	28	304.162	1.351	OK
45-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.14	7.233	3.31	28	312.650	0.402	OK
46-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.531	4.138	7.237	3.317	28	311.236	0.110	OK
47-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.532	4.14	7.24	3.313	28	302.747	1.643	OK
48-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.527	4.133	7.233	3.317	28	311.236	0.110	OK

Fuente: Elaboración propia

Tabla 73

Datos utilizados para el test de Grubbs al 95% confianza, para $f'c = 310 \text{ Kg/cm}^2$

TEST DE GRUBBS CON 95% CONFIANZA	7 DÍAS	14 DÍAS	28 DÍAS
PROMEDIO	212.37 Kg/cm ²	270.12 Kg/cm ²	310.71 Kg/cm ²
DESVIACION ESTÁNDAR	7.27 Kg/cm ²	8.83 Kg/cm ²	4.84 Kg/cm ²
N° DATOS	16	16	16
G TABLA	2.443	2.443	2.443

Fuente: Elaboración propia

F-2: SEGUNDO ANÁLISIS DE OUTLIERS POR MÉTODO DE GRUBBS SEGÚN DISEÑO

- Para $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$

Tabla 64 Análisis de Outliers utilizando el método de Grubbs para un diseño de $f'c = 175 \text{ Kg/cm}^2$

- Para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Tabla 66 Análisis de Outliers utilizando el método de Grubbs para un diseño de $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$

- Para $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$

Tabla 74

Segundo análisis de Outliers utilizando el método de Grubbs para un diseño de $f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$

N° DE PROBETA	MF ARENA	PE ARENA	MF PIEDRA	PE PIEDRA	TMN	AGUA LT	ARENA KG	PIEDRA KG	CEMENTO KG	EDAD DIAS	FC DE LABORATORIO (Kg/cm ²)	GRUBS	ACEPTACION
1-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.537	4.49	7.243	2.87	7	188.580	0.375	OK
2-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.523	4.493	7.24	2.867	7	187.449	0.505	OK
3-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.535	4.492	7.242	2.869	7	181.083	1.234	OK
4-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.536	4.491	7.242	2.87	7	193.815	0.225	OK
5-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.535	4.491	7.242	2.868	7	192.400	0.063	OK
6-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.537	4.49	7.243	2.87	14	239.086	0.984	OK
7-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.523	4.493	7.24	2.867	14	216.450	0.910	OK
8-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.535	4.492	7.242	2.869	14	220.694	0.555	OK
9-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.536	4.491	7.242	2.87	14	217.865	0.791	OK
10-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.535	4.491	7.242	2.868	14	224.938	0.200	OK
11-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.537	4.49	7.243	2.87	28	257.477	0.847	OK
12-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.523	4.493	7.24	2.867	28	256.062	0.642	OK
13-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.535	4.492	7.242	2.869	28	243.330	1.202	OK

14-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.536	4.491	7.242	2.87	28	246.159	0.792	OK
15-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.535	4.491	7.242	2.868	28	250.403	0.178	OK
16-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.535	4.492	7.243	2.87	7	181.083	1.234	OK
17-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.537	4.493	7.242	2.87	7	186.741	0.586	OK
18-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.543	4.492	7.243	2.867	7	190.985	0.099	OK
19-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.491	7.242	2.883	7	185.327	0.748	OK
20-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.537	4.491	7.243	2.873	7	192.400	0.063	OK
21-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.535	4.492	7.243	2.87	14	237.671	0.865	OK
22-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.537	4.493	7.242	2.87	14	212.206	1.265	OK
23-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.543	4.492	7.243	2.867	14	217.865	0.791	OK
24-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.491	7.242	2.883	14	224.938	0.200	OK
25-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.537	4.491	7.243	2.873	14	226.353	0.081	OK
26-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.535	4.492	7.243	2.87	28	246.159	0.792	OK
28-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.491	7.242	2.883	28	246.159	0.792	OK
29-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.537	4.491	7.243	2.873	28	247.574	0.587	OK
30-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.537	4.491	7.242	2.867	28	251.818	0.027	OK
31-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.49	7.243	2.87	7	187.449	0.505	OK
32-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.54	4.493	7.233	2.867	7	187.449	0.505	OK
33-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.543	4.492	7.25	2.873	7	192.400	0.063	OK
34-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.537	4.493	7.243	2.87	7	205.133	1.522	OK
35-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.483	7.247	2.87	7	212.206	2.333	OK
36-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.537	4.491	7.242	2.867	7	205.133	1.522	OK
37-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.49	7.243	2.87	14	232.012	0.392	OK
38-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.54	4.493	7.233	2.867	14	232.012	0.392	OK
39-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.543	4.492	7.25	2.873	14	250.403	1.930	OK
40-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.537	4.493	7.243	2.87	14	250.403	1.930	OK
41-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.483	7.247	2.87	14	217.865	0.791	OK
42-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.537	4.491	7.242	2.867	14	216.450	0.910	OK
43-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.49	7.243	2.87	28	248.988	0.382	OK

44-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.54	4.493	7.233	2.867	28	257.477	0.847	OK
45-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.543	4.492	7.25	2.873	28	246.159	0.792	OK
46-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.483	7.247	2.87	28	250.403	0.178	OK
47-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.53	4.483	7.247	2.87	28	270.209	2.690	X
48-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.482	7.247	2.87	28	256.062	0.642	OK

Fuente: Elaboración propia

Tabla 75

Datos utilizados para el test de Grubbs al 95% confianza, para $f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$

TEST DE GRUBBS CON 95% CONFIANZA	7 DÍAS	14 DÍAS	28 DÍAS
PROMEDIO	191.85 Kg/cm ²	227.33 Kg/cm ²	251.63 Kg/cm ²
DESVIACION ESTÁNDAR	8.73 Kg/cm ²	11.96 Kg/cm ²	6.91 Kg/cm ²
Nº DATOS	16	16	15
G TABLA	2.443	2.443	2.409

Fuente: Elaboración propia

- Para $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$

Tabla 76

Segundo análisis de Outliers utilizando el método de Grubbs para un diseño de $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$

N° DE PROBETA	MF ARENA	PE ARENA	MF PIEDRA	PE PIEDRA	TMN	AGUA LT	ARENA KG	PIEDRA KG	CEMENTO KG	EDAD DIAS	FC DE LABORATORIO (Kg/cm ²)	GRUBS	ACEPTACION
1-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.53	4.303	7.24	3.107	7	206.547	0.766	OK
2-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.527	4.317	7.233	3.117	7	212.206	0.368	OK
3-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.3	7.25	3.1	7	235.549	1.277	OK
4-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.303	7.242	3.108	7	200.888	1.165	OK
5-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.53	4.303	7.24	3.107	14	246.159	0.495	OK
6-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.527	4.317	7.233	3.117	14	263.136	1.446	OK
7-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.3	7.25	3.1	14	240.500	1.142	OK
8-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.303	7.242	3.108	14	269.502	2.173	OK
9-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.53	4.303	7.24	3.107	28	282.941	0.107	OK
10-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.527	4.317	7.233	3.117	28	275.868	0.834	OK
11-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.3	7.25	3.1	28	281.527	0.252	OK
12-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.303	7.242	3.108	28	281.527	0.252	OK
13-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.303	7.24	3.108	7	203.718	0.966	OK
14-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.317	7.237	3.109	7	217.865	0.031	OK
15-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.517	4.3	7.233	3.109	7	210.791	0.467	OK
16-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.523	4.31	7.243	3.105	7	188.156	2.062	OK
17-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.53	4.313	7.247	3.108	7	203.010	1.016	OK
18-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.303	7.24	3.108	14	243.330	0.819	OK
19-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.317	7.237	3.109	14	240.500	1.142	OK
20-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.517	4.3	7.233	3.109	14	254.647	0.475	OK
21-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.523	4.31	7.243	3.105	14	261.721	1.284	OK
22-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.53	4.313	7.247	3.108	14	254.647	0.475	OK
23-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.303	7.24	3.108	28	297.089	1.349	OK

24-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.317	7.237	3.109	28	294.259	1.058	OK
25-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.517	4.3	7.233	3.109	28	294.259	1.058	OK
26-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.523	4.31	7.243	3.105	28	297.089	1.349	OK
27-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.53	4.313	7.247	3.108	28	298.503	1.494	OK
28-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.303	7.243	3.107	7	232.012	1.028	OK
29-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.53	4.307	7.247	3.117	7	230.597	0.928	OK
30-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.532	4.303	7.233	3.11	7	229.183	0.829	OK
31-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.531	4.307	7.243	3.113	7	222.816	0.380	OK
32-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.307	7.25	3.117	7	222.816	0.380	OK
33-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.53	4.31	7.233	3.113	7	233.427	1.128	OK
34-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.532	4.313	7.247	3.1	7	229.183	0.829	OK
35-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.303	7.243	3.107	14	248.988	0.172	OK
36-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.53	4.307	7.247	3.117	14	251.111	0.071	OK
37-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.532	4.303	7.233	3.11	14	244.744	0.657	OK
38-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.531	4.307	7.243	3.113	14	253.233	0.313	OK
39-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.307	7.25	3.117	14	240.500	1.142	OK
40-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.53	4.31	7.233	3.113	14	251.818	0.152	OK
41-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.532	4.313	7.247	3.1	14	243.330	0.819	OK
42-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.303	7.243	3.107	28	275.868	0.834	OK
44D-	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.532	4.303	7.233	3.11	28	274.453	0.980	OK
45-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.531	4.307	7.243	3.113	28	271.624	1.271	OK
46-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.307	7.25	3.117	28	271.624	1.271	OK
47-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.53	4.31	7.233	3.113	28	280.112	0.398	OK
48-D	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.532	4.313	7.247	3.1	28	282.941	0.107	OK

Fuente: Elaboración propia

Tabla 77

Datos utilizados para el test de Grubbs al 95% confianza, para $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$

TEST DE GRUBBS CON 95% CONFIANZA	7 DÍAS	14 DÍAS	28 DÍAS
PROMEDIO	217.42 Kg/cm ²	250.49 Kg/cm ²	283.98 Kg/cm ²
DESVIACION ESTÁNDAR	14.19 Kg/cm ²	8.75 Kg/cm ²	9.7 Kg/cm ²
N° DATOS	16	16	15
G TABLA	2.443	2.443	2.409

Fuente: Elaboración propia

- Para $f'c = 310 \text{ kg/cm}^2$

Tabla 78

Segundo análisis de Outliers utilizando el método de Grubbs para un diseño de $f'c = 310 \text{ Kg/cm}^2$

N° DE PROBETA	MF ARENA	PE ARENA	MF PIEDRA	PE PIEDRA	TMN	AGUA LT	ARENA KG	PIEDRA KG	CEMENTO KG	EDAD DIAS	FC DE LABORATORIO (Kg/cm ²)	GRUBS	ACEPTACION
1-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.531	4.137	7.243	3.317	7	209.512	0.304	OK
2-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.527	4.133	7.24	3.317	7	204.749	1.302	OK
3-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.523	4.137	7.243	3.313	7	206.547	0.925	OK
4-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.527	4.14	7.242	3.32	7	208.669	0.481	OK
5-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.523	4.133	7.242	3.317	7	212.206	0.260	OK
6-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.531	4.137	7.243	3.317	14	260.306	1.394	OK
7-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.527	4.133	7.24	3.317	14	258.891	1.637	OK
8-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.523	4.137	7.243	3.313	14	263.136	0.908	OK
9-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.527	4.14	7.242	3.32	14	268.794	0.065	OK
10-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.523	4.133	7.242	3.317	14	264.550	0.664	OK
11-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.531	4.137	7.243	3.317	28	308.406	0.475	OK
12-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.527	4.133	7.24	3.317	28	311.236	0.110	OK
13-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.523	4.137	7.243	3.313	28	304.162	1.351	OK
14-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.527	4.14	7.242	3.32	28	311.236	0.110	OK
15-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.523	4.133	7.242	3.317	28	306.991	0.767	OK
16-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.53	4.137	7.24	3.32	7	217.865	1.446	OK
17-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.527	4.133	7.247	3.313	7	212.206	0.260	OK
19-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.531	4.14	7.24	3.313	7	209.377	0.332	OK
20-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.53	4.137	7.243	3.3	7	212.206	0.260	OK
21-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.53	4.137	7.24	3.32	14	263.136	0.908	OK
22-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.527	4.133	7.247	3.313	14	271.624	0.551	OK
23-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.532	4.15	7.243	3.317	14	267.380	0.178	OK
24-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.531	4.14	7.24	3.313	14	277.283	1.523	OK

25-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.53	4.137	7.243	3.3	14	267.380	0.178	OK
26-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.53	4.137	7.24	3.32	28	312.650	0.402	OK
27-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.527	4.133	7.247	3.313	28	309.821	0.183	OK
28-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.532	4.15	7.243	3.317	28	311.236	0.110	OK
29-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.531	4.14	7.24	3.313	28	319.724	1.862	OK
30-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.53	4.137	7.243	3.3	28	314.065	0.694	OK
31-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.532	4.137	7.24	3.317	7	203.718	1.518	OK
32-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.527	4.133	7.243	3.313	7	205.840	1.074	OK
33-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.14	7.233	3.31	7	220.694	2.039	OK
34-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.531	4.138	7.237	3.317	7	215.036	0.853	OK
35-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.532	4.14	7.24	3.313	7	212.206	0.260	OK
36-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.527	4.133	7.233	3.317	7	213.621	0.557	OK
38-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.527	4.133	7.243	3.313	14	274.453	1.037	OK
39-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.14	7.233	3.31	14	271.624	0.551	OK
40-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.531	4.138	7.237	3.317	14	278.697	1.766	OK
41-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.532	4.14	7.24	3.313	14	268.794	0.065	OK
42-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.527	4.133	7.233	3.317	14	270.209	0.308	OK
43-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.532	4.137	7.24	3.317	28	319.724	1.862	OK
44-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.527	4.133	7.243	3.313	28	304.162	1.351	OK
45-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.14	7.233	3.31	28	312.650	0.402	OK
46-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.531	4.138	7.237	3.317	28	311.236	0.110	OK
47-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.532	4.14	7.24	3.313	28	302.747	1.643	OK
48-E	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.527	4.133	7.233	3.317	28	311.236	0.110	OK

Fuente: Elaboración propia

Tabla 79

Datos utilizados para el test de Grubbs al 95% confianza, para $f'c = 310 \text{ Kg/cm}^2$

TEST DE GRUBBS CON 95% CONFIANZA	7 DÍAS	14 DÍAS	28 DÍAS
PROMEDIO	210.96 Kg/cm ²	268.42 Kg/cm ²	310.71 Kg/cm ²
DESVIACION	4.77 Kg/cm ²	5.82 Kg/cm ²	4.84 Kg/cm ²
N° DATOS	15	15	16
G TABLA	2.409	2.409	2.443

Fuente: Elaboración propia

F-3: TERCER ANÁLISIS DE OUTLIERS POR MÉTODO DE GRUBBS SEGÚN DISEÑO

- Para $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$

Tabla 64 Análisis de Outliers utilizando el método de Grubbs para un diseño de $f'c = 175 \text{ Kg/cm}^2$

- Para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Tabla 66 Análisis de Outliers utilizando el método de Grubbs para un diseño de $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$

- Para $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$

Tabla 80

Tercer análisis de Outliers utilizando el método de Grubbs para un diseño de $f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$

N° DE PROBETA	MF ARENA	PE ARENA	MF PIEDRA	PE PIEDRA	TMN	AGUA LT	ARENA KG	PIEDRA KG	CEMENTO KG	EDAD DIAS	FC DE LABORATORIO (Kg/cm ²)	GRUBS	ACEPTACION
1-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.537	4.49	7.243	2.87	7	188.580	0.375	OK
2-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.523	4.493	7.24	2.867	7	187.449	0.505	OK
3-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.535	4.492	7.242	2.869	7	181.083	1.234	OK
4-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.536	4.491	7.242	2.87	7	193.815	0.225	OK
5-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.535	4.491	7.242	2.868	7	192.400	0.063	OK
6-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.537	4.49	7.243	2.87	14	239.086	0.984	OK
7-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.523	4.493	7.24	2.867	14	216.450	0.910	OK
8-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.535	4.492	7.242	2.869	14	220.694	0.555	OK
9-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.536	4.491	7.242	2.87	14	217.865	0.791	OK
10-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.535	4.491	7.242	2.868	14	224.938	0.200	OK
11-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.537	4.49	7.243	2.87	28	257.477	1.498	OK
12-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.523	4.493	7.24	2.867	28	256.062	1.203	OK
13-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.535	4.492	7.242	2.869	28	243.330	1.456	OK

14-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.536	4.491	7.242	2.87	28	246.159	0.865	OK
15-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.535	4.491	7.242	2.868	28	250.403	0.021	OK
16-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.535	4.492	7.243	2.87	7	181.083	1.234	OK
17-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.537	4.493	7.242	2.87	7	186.741	0.586	OK
18-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.543	4.492	7.243	2.867	7	190.985	0.099	OK
19-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.491	7.242	2.883	7	185.327	0.748	OK
20-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.537	4.491	7.243	2.873	7	192.400	0.063	OK
21-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.535	4.492	7.243	2.87	14	237.671	0.865	OK
22-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.537	4.493	7.242	2.87	14	212.206	1.265	OK
23-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.543	4.492	7.243	2.867	14	217.865	0.791	OK
24-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.491	7.242	2.883	14	224.938	0.200	OK
25-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.537	4.491	7.243	2.873	14	226.353	0.081	OK
26-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.535	4.492	7.243	2.87	28	246.159	0.865	OK
28-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.491	7.242	2.883	28	246.159	0.865	OK
29-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.537	4.491	7.243	2.873	28	247.574	0.570	OK
30-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.537	4.491	7.242	2.867	28	251.818	0.317	OK
31-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.49	7.243	2.87	7	187.449	0.505	OK
32-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.54	4.493	7.233	2.867	7	187.449	0.505	OK
33-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.543	4.492	7.25	2.873	7	192.400	0.063	OK
34-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.537	4.493	7.243	2.87	7	205.133	1.522	OK
35-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.483	7.247	2.87	7	212.206	2.333	OK
36-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.537	4.491	7.242	2.867	7	205.133	1.522	OK
37-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.49	7.243	2.87	14	232.012	0.392	OK
38-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.54	4.493	7.233	2.867	14	232.012	0.392	OK
39-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.543	4.492	7.25	2.873	14	250.403	1.930	OK
40-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.537	4.493	7.243	2.87	14	250.403	1.930	OK
41-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.483	7.247	2.87	14	217.865	0.791	OK
42-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.537	4.491	7.242	2.867	14	216.450	0.910	OK
43-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.49	7.243	2.87	28	248.988	0.274	OK

44-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.54	4.493	7.233	2.867	28	257.477	1.498	OK
45-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.543	4.492	7.25	2.873	28	246.159	0.865	OK
46-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.483	7.247	2.87	28	250.403	0.021	OK
48-C	2.87	2.47	7.03	2.63	0.75	1.533	4.482	7.247	2.87	28	256.062	1.203	OK

Fuente: Elaboración propia

Tabla 81

Datos utilizados para el test de Grubbs al 95% confianza, para $f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$

TEST DE GRUBBS CON 95% CONFIANZA	7 DÍAS	14 DÍAS	28 DÍAS
PROMEDIO	191.85 Kg/cm ²	227.33 Kg/cm ²	250.30 Kg/cm ²
DESVIACION ESTÁNDAR	8.73 Kg/cm ²	11.96 Kg/cm ²	4.79 Kg/cm ²
N° DATOS	16	16	14
G TABLA	2.443	2.443	2.371

Fuente: Elaboración propia

- *Para $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$*

Tabla 76 Segundo análisis de Outliers utilizando el método de Grubbs para un diseño de $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$

- *Para $f'c = 310 \text{ kg/cm}^2$*

Tabla 78 Segundo análisis de Outliers utilizando el método de Grubbs para un diseño de $f'c = 310 \text{ Kg/cm}^2$

ANEXO G

G-1: ANÁLISIS ESTADÍSTICO, MEDIDAS DE POSICIÓN Y DISPERSIÓN

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

Tabla 82

Análisis de los resultados obtenidos para una resistencia de $f'c = 175 \text{ Kg/cm}^2$

RESISTENCIAS (KG/CM ²)		
7 días (Kg/cm ²)	14 días (Kg/cm ²)	28 días (Kg/cm ²)
139.349	179.668	214.328
145.007	188.156	217.865
155.618	171.887	217.158
156.325	176.838	210.791
126.616	181.790	219.987
123.787	182.144	214.092
145.715	186.741	210.791
134.869	190.985	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 83

Medidas de posición para $f'c = 175 \text{ Kg/cm}^2$

MEDIDAS DE POSICIÓN			
Nº DATOS	8	8	7
SUMA	1127.29 Kg/cm ²	1458.21 Kg/cm ²	1505.01 Kg/cm ²
MEDIA	140.91 Kg/cm ²	182.28 Kg/cm ²	215.00 Kg/cm ²
MODA			
MEDIANA	142.18 Kg/cm ²	181.97 Kg/cm ²	214.33 Kg/cm ²

Fuente: Elaboración propia

Tabla 84

Medidas de dispersión para $f'c = 175 \text{ Kg/cm}^2$

RESISTENCIAS (KG/CM2)				$X - \bar{X}$			$(X - \bar{X})^2$		
	7 días	14 días	28 días	7 días	14 días	28 días	7 días	14 días	28 días
	139.349	179.668	214.328	-1.562	-2.608	-0.674	2.440	6.804	0.454
	145.007	188.156	217.865	4.097	5.880	2.863	16.783	34.573	8.197
	155.618	171.887	217.158	14.707	-10.389	2.156	216.297	107.937	4.647
	156.325	176.838	210.791	15.414	-5.438	-4.210	237.604	29.569	17.728
	126.616	181.790	219.987	-14.294	-0.486	4.985	204.331	0.236	24.852
	123.787	182.144	214.092	-17.124	-0.133	-0.909	293.227	0.018	0.827
	145.715	186.741	210.791	4.804	4.465	-4.210	23.079	19.938	17.728
	134.869	190.985		-6.042	8.709		36.505	75.852	
SUMA	1127.286	1458.210	1505.013				SUMA	1030.267	274.926
N° DATOS	8	8	7				N° DATOS	8	8
PROMEDIO	140.91 Kg/cm ²	182.28 Kg/cm ²	215.00 Kg/cm ²				VARIANZA M.	147.181	39.275
RANGO	32.54 Kg/cm ²	19.10 Kg/cm ²	9.20 Kg/cm ²				DESVIACION E.M.	12.13 Kg/cm ²	6.27 Kg/cm ²
							COEF. VARIACION	8.61 %	3.44 %
									1.64 %

Fuente: Elaboración propia

G-2: ANÁLISIS ESTADÍSTICO, MEDIDAS DE POSICIÓN Y DISPERSIÓN

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

Tabla 85

Análisis de los resultados obtenidos para una resistencia de $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$

RESISTENCIAS (KG/CM ²)		
7 días (Kg/cm ²)	14 días (Kg/cm ²)	28 días (Kg/cm ²)
189.217	223.524	248.988
180.022	221.402	269.502
184.619	234.841	275.161
190.278	233.427	258.184
202.303	230.597	271.624
201.242	238.378	267.380
207.255	234.134	264.550
208.316	238.378	264.550

Fuente: Elaboración propia

Tabla 86

Medidas de posición para $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$

COEFICIENTE DE POSICIÓN			
N° DATOS	8	8	8
SUMA	1563.25 Kg/cm ²	1854.68 Kg/cm ²	2119.94 Kg/cm ²
MEDIA	195.41 Kg/cm ²	231.84 Kg/cm ²	264.99 Kg/cm ²
MODA		238.38 Kg/cm ²	264.55 Kg/cm ²
MEDIANA	195.760 Kg/cm ²	235.902 Kg/cm ²	265.965 Kg/cm ²

Fuente: Elaboración propia

Tabla 87

Medidas de dispersión para $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$

RESISTENCIAS (KG/CM2)				$X- \bar{X}$		$(X- \bar{X})^2$			
	7 días	14 días	28 días	7 días	14 días	28 días	7 días	14 días	28 días
	189.217	223.524	248.988	-6.189	-8.311	-16.004	38.308	69.079	256.124
	180.022	221.402	269.502	-15.385	-10.433	4.509	236.696	108.857	20.335
	184.619	234.841	275.161	-10.787	3.006	10.168	116.362	9.038	103.392
	190.278	233.427	258.184	-5.128	1.592	-6.808	26.300	2.533	46.353
	202.303	230.597	271.624	6.897	-1.238	6.631	47.564	1.532	43.976
	201.242	238.378	267.380	5.836	6.543	2.387	34.055	42.811	5.699
	207.255	234.134	264.550	11.848	2.299	-0.442	140.379	5.285	0.195
	208.316	238.378	264.550	12.909	6.543	-0.442	166.648	42.811	0.195
SUMA	1563.252	1854.681	2119.939			SUMA	806.313	281.947	476.270
N° DATOS	8	8	8			N° DATOS	8	8	8
PROMEDIO	195.41 Kg/cm²	231.84 Kg/cm²	264.99 Kg/cm²			VARIANZA M.	115.188	40.278	68.039
RANGO	28.29 Kg/cm²	16.98 Kg/cm²	26.17 Kg/cm²			DESVIACION E.M.	10.73 Kg/cm²	6.35 Kg/cm²	8.25 Kg/cm²
						COEF. VARIACION	5.49 %	2.74 %	3.11 %

Fuente: Elaboración propia

G-3: ANÁLISIS ESTADÍSTICO, MEDIDAS DE POSICIÓN Y DISPERSIÓN
PARA $f'c= 250 \text{ Kg/cm}^2$

Tabla 88

Análisis de los resultados obtenidos para una resistencia de $f'c= 250 \text{ Kg/cm}^2$

RESISTENCIAS (KG/CM ²)		
7 días (Kg/cm ²)	14 días (Kg/cm ²)	28 días (Kg/cm ²)
188.015	227.768	256.769
187.449	219.280	244.744
186.741	231.305	248.281
188.863	215.036	249.696
188.863	225.646	253.233
187.449	232.012	248.281
198.766	250.403	
208.669	217.158	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 89

Medidas de posición para $f'c= 250 \text{ Kg/cm}^2$

MEDIDAS DE POSICIÓN			
Nº DATOS	8	8	6
SUMA	1534.82 Kg/cm ²	1818.61 Kg/cm ²	1501.00 Kg/cm ²
MEDIA	191.85 Kg/cm ²	227.33 Kg/cm ²	250.17 Kg/cm ²
MODA	188.86 Kg/cm ²	0.00 Kg/cm ²	248.28 Kg/cm ²
MEDIANA	188.44 Kg/cm ²	226.71 Kg/cm ²	248.99 Kg/cm ²

Fuente: Elaboración propia

Tabla 90

Medidas de dispersión para $f'c=250 \text{ Kg/cm}^2$

RESISTENCIAS (KG/CM2)				$X - \bar{X}$		$(X - \bar{X})^2$			
	7 días	14 días	28 días	7 días	14 días	28 días	7 días	14 días	28 días
	188.015	227.768	256.769	-3.837	0.442	6.602	14.726	0.195	43.586
	187.449	219.280	244.744	-4.403	-8.046	-5.423	19.389	64.740	29.409
	186.741	231.305	248.281	-5.111	3.979	-1.886	26.119	15.831	3.558
	188.863	215.036	249.696	-2.989	-12.290	-0.472	8.932	151.051	0.222
	188.863	225.646	253.233	-2.989	-1.680	3.065	8.932	2.822	9.395
	187.449	232.012	248.281	-4.403	4.686	-1.886	19.389	21.961	3.558
	198.766	250.403		6.914	23.077		47.809	532.567	
	208.669	217.158		16.817	-10.168		282.823	103.392	
SUMA	1534.816	1818.606	1501.004				SUMA	428.116	892.560
Nº DATOS	8	8	6				Nº DATOS	8	8
PROMEDIO	191.85 Kg/cm ²	227.33 Kg/cm ²	250.17 Kg/cm ²				VARIANZA M.	61.159	127.509
RANGO	21.93 Kg/cm ²	35.37 Kg/cm ²	12.03 Kg/cm ²				DESVIACION E.M.	7.82 Kg/cm ²	11.29 Kg/cm ²
							COEF. VARIACION	4.08 %	4.97 %

Fuente: Elaboración propia

G-4: ANÁLISIS ESTADÍSTICO, MEDIDAS DE POSICIÓN Y DISPERSIÓN

PARA $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$

Tabla 91

Análisis de los resultados obtenidos para una resistencia de $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$

RESISTENCIAS (KG/CM ²)		
7 días (Kg/cm ²)	14 días (Kg/cm ²)	28 días (Kg/cm ²)
209.377	254.647	279.405
218.219	255.001	281.527
210.791	241.915	295.674
199.474	258.184	295.674
217.511	251.818	287.186
229.890	247.927	271.624
222.816	246.866	281.527
231.305	247.574	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 92

Medidas de posición para $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$

MEDIDAS DE POSICIÓN			
N° DATOS	8	8	7
SUMA	1739.38 Kg/cm ²	2003.93 Kg/cm ²	1992.62 Kg/cm ²
MEDIA	217.42 Kg/cm ²	250.49 Kg/cm ²	284.66 Kg/cm ²
MODA			281.53 Kg/cm ²
MEDIANA	217.86 Kg/cm ²	249.87 Kg/cm ²	281.53 Kg/cm ²

Fuente: Elaboración propia

Tabla 93

Medidas de dispersión para $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$

RESISTENCIAS (KG/CM2)			$X - \bar{X}$			$(X - \bar{X})^2$		
7 días	14 días	28 días	7 días	14 días	28 días	7 días	14 días	28 días
209.377	254.647	279.405	-8.046	4.156	-5.255	64.740	17.270	27.611
218.219	255.001	281.527	0.796	4.509	-3.133	0.633	20.335	9.813
210.791	241.915	295.674	-6.631	-8.577	11.015	43.976	73.559	121.319
199.474	258.184	295.674	-17.949	7.692	11.015	322.170	59.174	121.319
217.511	251.818	287.186	0.088	1.326	2.526	0.008	1.759	6.382
229.890	247.927	271.624	12.467	-2.564	-13.036	155.429	6.575	169.925
222.816	246.866	281.527	5.394	-3.625	-3.133	29.091	13.142	9.813
231.305	247.574		13.882	-2.918		192.705	8.514	
SUMA	1739.383	2003.933	1992.615		SUMA	808.752	200.327	466.182
Nº DATOS	8	8	7		Nº DATOS	8	8	7
PROMEDIO	217.42 Kg/cm ²	250.49 Kg/cm ²	284.66 Kg/cm ²		VARIANZA M.	115.536	28.618	77.697
RANGO	31.83 Kg/cm ²	16.27 Kg/cm ²	24.05 Kg/cm ²		DESVIACION E.M.	10.75 Kg/cm ²	5.35 Kg/cm ²	8.81 Kg/cm ²
					COEF. VARIACION	4.94 %	2.14 %	3.10 %

Fuente: Elaboración propia

G-5: ANÁLISIS ESTADÍSTICO, MEDIDAS DE POSICIÓN Y DISPERSIÓN

PARA $f'c = 310 \text{ Kg/cm}^2$

Tabla 94

Análisis de los resultados obtenidos para una resistencia de $f'c = 310 \text{ Kg/cm}^2$

RESISTENCIAS (KG/CM ²)		
7 días (Kg/cm ²)	14 días (Kg/cm ²)	28 días (Kg/cm ²)
207.131	259.599	309.821
207.608	265.965	307.699
215.036	263.843	309.821
210.791	269.502	310.528
204.779	272.331	316.894
217.865	275.161	311.943
212.913	269.502	311.943
		306.991

Fuente: Elaboración propia

Tabla 95

Medidas de posición para $f'c = 310 \text{ Kg/cm}^2$

MEDIDAS DE POSICIÓN			
Nº DATOS	7	7	8
SUMA	1476.12 Kg/cm ²	1875.90 Kg/cm ²	2485.64 Kg/cm ²
MEDIA	210.87 Kg/cm ²	267.99 Kg/cm ²	310.71 Kg/cm ²
MODA		269.50 Kg/cm ²	311.94 Kg/cm ²
MEDIANA	210.79 Kg/cm ²	269.50 Kg/cm ²	310.17 Kg/cm ²

Fuente: Elaboración propia

Tabla 96

Medidas de dispersión para $f'c=310 \text{ Kg/cm}^2$

RESISTENCIAS (KG/CM2)				$X - \bar{X}$			$(X - \bar{X})^2$		
	7 días	14 días	28 días	7 días	14 días	28 días	7 días	14 días	28 días
	207.131	259.599	309.821	-3.744	-8.387	-0.884	14.018	70.345	0.782
	207.608	265.965	307.699	-3.266	-2.021	-3.006	10.670	4.084	9.038
	215.036	263.843	309.821	4.161	-4.143	-0.884	17.312	17.165	0.782
	210.791	269.502	310.528	-0.083	1.516	-0.177	0.007	2.298	0.031
	204.779	272.331	316.894	-6.096	4.345	6.189	37.159	18.881	38.308
	217.865	275.161	311.943	6.990	7.175	1.238	48.863	51.475	1.532
	212.913	269.502	311.943	2.039	1.516	1.238	4.156	2.298	1.532
			306.991			-3.714			13.791
SUMA	1476.123	1875.902	2485.641			SUMA	132.186	166.545	65.796
N° DATOS	7	7	8			N° DATOS	7	7	8
PROMEDIO	210.87 Kg/cm ²	267.99 Kg/cm ²	310.71 Kg/cm ²			VARIANZA M.	22.031	27.757	9.399
RANGO	13.09 Kg/cm ²	15.56 Kg/cm ²	9.90 Kg/cm ²			DESVIACION E.M.	4.69 Kg/cm ²	5.27 Kg/cm ²	3.07 Kg/cm ²
						COEF. VARIACION	2.23 %	1.97 %	0.99 %

Fuente: Elaboración propia

**G-6: ESTIMACIÓN DE INTERVALOS DE CONFIANZA PARA LA MEDIA:
VARIANZA SUPUESTA DESCONOCIDA PARA UNA POBLACIÓN NORMAL**

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

$$\bar{x} - t_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1} * S / \sqrt{n} \leq \mu \leq \bar{x} + Z_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1} * S / \sqrt{n}$$

Trabajamos con un nivel de confianza del 95%

$$1 - \alpha = 0.95$$

$$0.05 = \alpha$$

$$2.5\% = \frac{\alpha}{2}$$

$$1 - \frac{\alpha}{2} = 0.9750$$

Para 7 días: $n-1 = 7$ $t_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1} = 2.365$

$$\bar{x} - t_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1} * S / \sqrt{n} \leq \mu \leq \bar{x} + Z_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1} * S / \sqrt{n}$$

$$140.91 - 2.365 * 12.13 / \sqrt{8} \leq \mu \leq 140.91 + 2.365 * 12.13 / \sqrt{8}$$

130.7666854	$\leq \mu \leq$	151.0548138
-------------	-----------------	-------------

Para 14 días: $n-1 = 7$ $t_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1} = 2.365$

$$\bar{x} - t_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1} * S / \sqrt{n} \leq \mu \leq \bar{x} + Z_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1} * S / \sqrt{n}$$

$$182.28 - 2.365 * 6.27 / \sqrt{8} \leq \mu \leq 182.28 + 2.365 * 6.27 / \sqrt{8}$$

177.0360251	$\leq \mu \leq$	187.5163615
-------------	-----------------	-------------

Para 28 días: $n-1 = 6$ $t_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1} = 2.447$

$$\bar{x} - t_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1} * S / \sqrt{n} \leq \mu \leq \bar{x} + Z_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1} * S / \sqrt{n}$$

$$215.00 - 2.447 * 3.52 / \sqrt{7} \leq \mu \leq 215.00 + 2.447 * 3.52 / \sqrt{7}$$

211.7442704	$\leq \mu \leq$	218.2593809
-------------	-----------------	-------------

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

Trabajamos con un nivel de confianza del 95%

$$1 - \alpha = 0.95$$

$$0.05 = \alpha$$

$$2.5\% = \frac{\alpha}{2}$$

$$1 - \frac{\alpha}{2} = 0.9750$$

Para 7 días: $n-1 = 7$ $t_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1} = 2.365$

$$\bar{x} - t_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1} * S / \sqrt{n} \leq \mu \leq \bar{x} + t_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1} * S / \sqrt{n}$$

$$195.41 - 2.365 * 10.73 / \sqrt{8} \leq \mu \leq 195.41 + 2.365 * 10.73 / \sqrt{8}$$

186.4323872	$\leq \mu \leq$	204.3805037
-------------	-----------------	-------------

Para 14 días: $n-1 = 7$ $t_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1} = 2.365$

$$\bar{x} - t_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1} * S / \sqrt{n} \leq \mu \leq \bar{x} + t_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1} * S / \sqrt{n}$$

$$231.84 - 2.365 * 6.35 / \sqrt{8} \leq \mu \leq 231.84 + 2.365 * 6.35 / \sqrt{8}$$

226.5285053	$\leq \mu \leq$	237.1418113
-------------	-----------------	-------------

Para 28 días: $n-1 = 7$ $t_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1} = 2.365$

$$\bar{x} - t_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1} * S / \sqrt{n} \leq \mu \leq \bar{x} + t_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1} * S / \sqrt{n}$$

$$264.99 - 2.365 * 8.25 / \sqrt{8} \leq \mu \leq 264.99 + 2.365 * 8.25 / \sqrt{8}$$

258.0953056	$\leq \mu \leq$	271.8894156
-------------	-----------------	-------------

- $f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$

Trabajamos con un nivel de confianza del 95%

$$1 - \alpha = 0.95$$

$$0.05 = \alpha$$

$$2.5\% = \frac{\alpha}{2}$$

$$1 - \frac{\alpha}{2} = 0.9750$$

Para 7 días: $n-1 = 7$

$$t_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1} = 2.365$$

$$\bar{x} - t_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1} * S / \sqrt{n} \leq \mu \leq \bar{x} + t_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1} * S / \sqrt{n}$$

$$191.85 - 2.365 * 7.82 / \sqrt{8} \leq \mu \leq 191.85 + 2.365 * 7.82 / \sqrt{8}$$

185.312893	≤ μ ≤	198.3910936
------------	-------	-------------

Para 14 días: $n-1 = 7$

$$t_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1} = 2.365$$

$$\bar{x} - t_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1} * S / \sqrt{n} \leq \mu \leq \bar{x} + t_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1} * S / \sqrt{n}$$

$$227.33 - 2.365 * 11.29 / \sqrt{8} \leq \mu \leq 227.33 + 2.365 * 11.29 / \sqrt{8}$$

217.883954	≤ μ ≤	236.7676036
------------	-------	-------------

Para 28 días: $n-1 = 5$

$$t_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1} = 2.571$$

$$\bar{x} - t_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1} * S / \sqrt{n} \leq \mu \leq \bar{x} + t_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1} * S / \sqrt{n}$$

$$250.17 - 2.571 * 4.24 / \sqrt{6} \leq \mu \leq 250.17 + 2.571 * 4.24 / \sqrt{6}$$

245.7210067	≤ μ ≤	254.6138073
-------------	-------	-------------

- $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$

Trabajamos con un nivel de confianza del 95%

$$1 - \alpha = 0.95$$

$$0.05 = \alpha$$

$$2.5\% = \frac{\alpha}{2}$$

$$1 - \frac{\alpha}{2} = 0.9750$$

Para 7 días: $n-1 = 7$

$$t_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1} = 2.365$$

$$\bar{x} - t_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1} * S / \sqrt{n} \leq \mu \leq \bar{x} + t_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1} * S / \sqrt{n}$$

$$217.42 - 2.365 * 10.75 / \sqrt{8} \leq \mu \leq 217.42 + 2.365 * 10.75 / \sqrt{8}$$

208.4352059	$\leq \mu \leq$	226.4104496
-------------	-----------------	-------------

Para 14 días: $n-1 = 7$

$$t_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1} = 2.365$$

$$\bar{x} - t_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1} * S / \sqrt{n} \leq \mu \leq \bar{x} + t_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1} * S / \sqrt{n}$$

$$250.49 - 2.365 * 5.35 / \sqrt{8} \leq \mu \leq 250.49 + 2.365 * 5.35 / \sqrt{8}$$

246.0185252	$\leq \mu \leq$	254.9646963
-------------	-----------------	-------------

Para 28 días: $n-1 = 6$

$$t_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1} = 2.447$$

$$\bar{x} - t_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1} * S / \sqrt{n} \leq \mu \leq \bar{x} + t_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1} * S / \sqrt{n}$$

$$284.66 - 2.447 * 8.81 / \sqrt{7} \leq \mu \leq 284.66 + 2.447 * 8.81 / \sqrt{7}$$

276.5068841	$\leq \mu \leq$	292.8117524
-------------	-----------------	-------------

- $f'c = 310 \text{ Kg/cm}^2$

Trabajamos con un nivel de confianza del 95%

$$1 - \alpha = 0.95$$

$$0.05 = \alpha$$

$$2.5\% = \frac{\alpha}{2}$$

$$1 - \frac{\alpha}{2} = 0.9750$$

Para 7 días: $n-1 = 6$

$$t_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1} = 2.447$$

$$\bar{x} - t_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1} * S / \sqrt{n} \leq \mu \leq \bar{x} + t_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1} * S / \sqrt{n}$$

$$210.87 - 2.447 * 4.69 / \sqrt{7} \leq \mu \leq 210.87 + 2.447 * 4.69 / \sqrt{7}$$

206.5336033	$\leq \mu \leq$	215.2158382
-------------	-----------------	-------------

Para 14 días: $n-1 = 6$

$$t_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1} = 2.447$$

$$\bar{x} - t_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1} * S / \sqrt{n} \leq \mu \leq \bar{x} + t_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1} * S / \sqrt{n}$$

$$267.99 - 2.447 * 5.27 / \sqrt{7} \leq \mu \leq 267.99 + 2.447 * 5.27 / \sqrt{7}$$

263.1132241	$\leq \mu \leq$	272.8587405
-------------	-----------------	-------------

Para 28 días: $n-1 = 7$

$$t_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1} = 2.365$$

$$\bar{x} - t_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1} * S / \sqrt{n} \leq \mu \leq \bar{x} + t_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1} * S / \sqrt{n}$$

$$310.71 - 2.365 * 3.07 / \sqrt{8} \leq \mu \leq 310.71 + 2.365 * 3.07 / \sqrt{8}$$

308.1415707	$\leq \mu \leq$	313.2686095
-------------	-----------------	-------------

ANEXO H

H-1: RESULTADOS DE COMPROBACIONES DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO

Tabla 97

Resistencias obtenidas para comprobación de la RNA

N° DE PROBETA	F' C DISEÑO	MODULO DE FINURA AF	PESO ESPECIFICO AF	PESO ESPECIFICO AG	TMN	AGUA (LT)	ARENA (KG)	PIEDRA (KG)	CEMENTO (KG)	EDAD (DIAS)	SLUMP en pulg.	F' C LABORATORIO
100-A	100	2.87	2.47	2.63	3/4	1.652	5.490	7.759	2.235	7	4"	137.227 Kg/cm ²
100-B	100	2.87	2.47	2.63	3/4	1.652	5.490	7.759	2.235	7	4"	142.885 Kg/ cm ²
100-C	100	2.87	2.47	2.63	3/4	1.652	5.490	7.759	2.235	14	4"	171.180 Kg/ cm ²
100-D	100	2.87	2.47	2.63	3/4	1.652	5.490	7.759	2.235	14	4"	151.374 Kg/ cm ²
100-E	100	2.87	2.47	2.63	3/4	1.652	5.490	7.759	2.235	28	4"	179.668 Kg/ cm ²
100-F	100	2.87	2.47	2.63	3/4	1.652	5.490	7.759	2.235	28	4"	198.059 Kg/ cm ²
140-A	140	2.87	2.47	2.63	3/4	1.652	5.466	7.759	2.265	7	4"	148.544 Kg/ cm ²
140-B	140	2.87	2.47	2.63	3/4	1.652	5.466	7.759	2.265	7	4"	134.397 Kg/ cm ²
140-C	140	2.87	2.47	2.63	3/4	1.652	5.466	7.759	2.265	14	4"	178.253 Kg/ cm ²
140-D	140	2.87	2.47	2.63	3/4	1.652	5.466	7.759	2.265	14	4"	162.691 Kg/ cm ²
140-E	140	2.87	2.47	2.63	3/4	1.652	5.466	7.759	2.265	28	4"	222.109 Kg/ cm ²
140-F	140	2.87	2.47	2.63	3/4	1.652	5.466	7.759	2.265	28	4"	213.621 Kg/ cm ²
240-A	240	2.87	2.47	2.63	3/4	1.645	4.814	7.759	3.075	7	3"	185.327 Kg/ cm ²
240-B	240	2.87	2.47	2.63	3/4	1.645	4.814	7.759	3.075	7	3"	182.497 Kg/ cm ²
240-C	240	2.87	2.47	2.63	3/4	1.645	4.814	7.759	3.075	14	3"	224.938 Kg/ cm ²
240-D	240	2.87	2.47	2.63	3/4	1.645	4.814	7.759	3.075	14	3.5"	213.621 Kg/ cm ²
240-E	240	2.87	2.47	2.63	3/4	1.645	4.814	7.759	3.075	28	3.5"	257.477 Kg/ cm ²
240-F	240	2.87	2.47	2.63	3/4	1.645	4.814	7.759	3.075	28	3.5"	261.721 Kg/ cm ²
315-A	315	2.87	2.47	2.63	3/4	1.640	4.400	7.759	3.600	7	3"	220.694 Kg/ cm ²
315-B	315	2.87	2.47	2.63	3/4	1.640	4.400	7.759	3.600	7	3"	217.865 Kg/ cm ²

315-C	315	2.87	2.47	2.63	3/4	1.640	4.400	7.759	3.600	14	3"	264.550 Kg/ cm ²
315-D	315	2.87	2.47	2.63	3/4	1.640	4.400	7.759	3.600	14	3.5"	271.624 Kg/ cm ²
315-E	315	2.87	2.47	2.63	3/4	1.640	4.400	7.759	3.600	28	3.5"	299.918 Kg/ cm ²
315-F	315	2.87	2.47	2.63	3/4	1.640	4.400	7.759	3.600	28	3.5"	308.406 Kg/ cm ²
175-A	175	2.87	2.47	2.63	3/4	1.65	5.307	7.759	2.46	7	4"	186.741 Kg/ cm ²
175-B	175	2.87	2.47	2.63	3/4	1.65	5.307	7.759	2.46	7	4"	181.083 Kg/ cm ²
175-C	175	2.87	2.47	2.63	3/4	1.65	5.307	7.759	2.46	14	4"	212.206 Kg/ cm ²
175-D	175	2.87	2.47	2.63	3/4	1.65	5.307	7.759	2.46	14	4"	189.571 Kg/ cm ²
175-E	175	2.87	2.47	2.63	3/4	1.65	5.307	7.759	2.46	28	4"	230.597 Kg/ cm ²
175-F	175	2.87	2.47	2.63	3/4	1.65	5.307	7.759	2.46	28	4"	254.647 Kg/ cm ²
210-A	210	2.87	2.47	2.63	3/4	1.645	4.814	7.759	3.075	7	4"	204.425 Kg/ cm ²
210-B	210	2.87	2.47	2.63	3/4	1.645	4.814	7.759	3.075	7	4"	198.059 Kg/ cm ²
210-C	210	2.87	2.47	2.63	3/4	1.645	4.814	7.759	3.075	14	4"	229.183 Kg/ cm ²
210-D	210	2.87	2.47	2.63	3/4	1.645	4.814	7.759	3.075	14	4"	220.694 Kg/ cm ²
210-E	210	2.87	2.47	2.63	3/4	1.645	4.814	7.759	3.075	28	4"	240.500 Kg/ cm ²
210-F	210	2.87	2.47	2.63	3/4	1.645	4.814	7.759	3.075	28	4"	243.330 Kg/ cm ²
280-A	280	2.87	2.47	2.63	3/4	1.642	4.613	7.759	3.330	7	3.5"	206.547 Kg/ cm ²
280-B	280	2.87	2.47	2.63	3/4	1.642	4.613	7.759	3.330	7	3.5"	205.133 Kg/ cm ²
280-C	280	2.87	2.47	2.63	3/4	1.642	4.613	7.759	3.330	14	3.5"	243.330 Kg/ cm ²
280-D	280	2.87	2.47	2.63	3/4	1.642	4.613	7.759	3.330	14	3.5"	240.500 Kg/ cm ²
280-E	280	2.87	2.47	2.63	3/4	1.642	4.613	7.759	3.330	28	3.5"	294.259 Kg/ cm ²
280-F	280	2.87	2.47	2.63	3/4	1.642	4.613	7.759	3.330	28	3.5"	275.868 Kg/ cm ²
250-A	250	2.87	2.47	2.63	3/4	1.645	4.814	7.759	3.075	7	4"	192.400 Kg/ cm ²
250-B	250	2.87	2.47	2.63	3/4	1.645	4.814	7.759	3.075	7	4"	187.449 Kg/ cm ²
250-C	250	2.87	2.47	2.63	3/4	1.645	4.814	7.759	3.075	14	4"	217.865 Kg/ cm ²
250-D	250	2.87	2.47	2.63	3/4	1.645	4.814	7.759	3.075	14	4"	215.036 Kg/ cm ²
250-E	250	2.87	2.47	2.63	3/4	1.645	4.814	7.759	3.075	28	4"	254.647 Kg/ cm ²
250-F	250	2.87	2.47	2.63	3/4	1.645	4.814	7.759	3.075	28	4"	253.233 Kg/ cm ²

310-A	310	2.87	2.47	2.63	3/4	1.640	4.432	7.759	3.555	7	3"	207.962 Kg/ cm ²
310-B	310	2.87	2.47	2.63	3/4	1.640	4.432	7.759	3.555	7	3"	220.694 Kg/ cm ²
310-C	310	2.87	2.47	2.63	3/4	1.640	4.432	7.759	3.555	14	3"	265.965 Kg/ cm ²
310-D	310	2.87	2.47	2.63	3/4	1.640	4.432	7.759	3.555	14	3"	267.380 Kg/ cm ²
310-E	310	2.87	2.47	2.63	3/4	1.640	4.432	7.759	3.555	28	3"	311.236 Kg/ cm ²
310-F	310	2.87	2.47	2.63	3/4	1.640	4.432	7.759	3.555	28	3"	304.162 Kg/ cm ²

Fuente: Elaboración propia

H-2: ENSAYO DE CALIDAD DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO (COMPROBACIONES)

Tabla 98

Control de calidad del concreto fresco para comprobación de la RNA

N° DE PROBETA	PESO DE MUESTRA + MOLDE (KG)	PESO DE MOLDE (KG)	PESO DE LA MUESTRA (KG)	DIAMETRO (CM)	ALTURA (CM)	PESO UNITARIO (gr / cm ³)	PESO UNITARIO PROMEDIO DE TANDA	PESO POR TANDA	RENDIMIENTO	FACTOR CEMENTO
100-A	20.680	7.710	12.970	15.00	30.00	2.45	2.4399	34.27 Kg	0.014 m3	71.19
100-B	21.080	8.180	12.900	15.00	30.00	2.43				
100-C	21.075	8.210	12.865	15.00	30.00	2.43				
100-D	21.275	8.185	13.090	15.00	30.00	2.47	2.4479	34.27 Kg	0.014 m3	71.42
100-E	21.435	8.205	13.230	15.00	30.00	2.50	2.4423	34.27 Kg	0.014 m3	71.26
100-F	20.305	7.640	12.665	15.00	30.00	2.39				
140-A	20.920	8.155	12.765	15.00	30.00	2.41				
140-B	20.255	8.120	12.135	15.00	30.00	2.29	2.3848	34.28 Kg	0.015 m3	68.50
140-C	20.945	8.125	12.820	15.00	30.00	2.42	2.4130	34.28 Kg	0.014 m3	70.38
140-D	20.465	7.700	12.765	15.00	30.00	2.41				
140-E	21.150	8.225	12.925	15.00	30.00	2.44				
140-F	20.985	8.215	12.770	15.00	30.00	2.41	2.4234	34.28 Kg	0.014 m3	70.69
240-A	20.160	7.635	12.525	15.00	30.00	2.36	2.3376	34.59 Kg	0.015 m3	67.59
240-B	19.850	7.590	12.260	15.00	30.00	2.31				
240-C	21.085	8.170	12.915	15.00	30.00	2.44				
240-D	19.745	7.190	12.555	15.00	30.00	2.37	2.4022	34.59 Kg	0.014 m3	69.46
240-E	21.185	8.170	13.015	15.00	30.00	2.45	2.4507	34.59 Kg	0.014 m3	70.86
240-F	21.160	8.190	12.970	15.00	30.00	2.45				
315-A	20.480	8.120	12.360	15.00	30.00	2.33				
315-B	21.235	8.170	13.065	15.00	30.00	2.46	2.3979	34.80 Kg	0.015 m3	68.91

315-C	21.000	8.170	12.830	15.00	30.00	2.42				
315-D	21.410	8.190	13.220	15.00	30.00	2.49	2.4569	34.80 Kg	0.014 m3	70.60
315-E	19.965	7.590	12.375	15.00	30.00	2.33				
315-F	19.585	7.190	12.395	15.00	30.00	2.34	2.3362	34.80 Kg	0.015 m3	67.14
175-A	21.065	8.125	12.940	15.00	30.00	2.44				
175-B	20.515	7.700	12.815	15.00	30.00	2.42	2.4291	34.35 Kg	0.014 m3	70.71
175-C	20.210	7.640	12.570	15.00	30.00	2.37				
175-D	21.220	8.225	12.995	15.00	30.00	2.45	2.4111	34.35 Kg	0.014 m3	70.19
175-E	20.635	7.170	13.465	15.00	30.00	2.54				
175-F	21.280	8.205	13.075	15.00	30.00	2.47	2.5031	34.35 Kg	0.014 m3	72.87
210-A	21.095	7.710	13.385	15.00	30.00	2.52				
210-B	20.250	8.055	12.195	15.00	30.00	2.30	2.4125	34.57 Kg	0.014 m3	69.79
210-C	21.140	8.225	12.915	15.00	30.00	2.44				
210-D	20.450	7.640	12.810	15.00	30.00	2.42	2.4262	34.57 Kg	0.014 m3	70.18
210-E	21.085	8.185	12.900	15.00	30.00	2.43				
210-F	21.170	8.210	12.960	15.00	30.00	2.44	2.4390	34.57 Kg	0.014 m3	70.55
280-A	21.095	8.180	12.915	15.00	30.00	2.44				
280-B	20.250	7.635	12.615	15.00	30.00	2.38	2.4078	34.69 Kg	0.014 m3	69.41
280-C	21.010	8.170	12.840	15.00	30.00	2.42				
280-D	21.370	8.225	13.145	15.00	30.00	2.48	2.4507	34.69 Kg	0.014 m3	70.65
280-E	20.200	7.635	12.565	15.00	30.00	2.37				
280-F	21.005	8.170	12.835	15.00	30.00	2.42	2.3956	34.69 Kg	0.014m3	69.06
250-A	21.335	8.190	13.145	15.00	30.00	2.48				
250-B	19.920	7.590	12.330	15.00	30.00	2.33	2.4026	34.59 Kg	0.014 m3	69.47
250-C	21.030	8.185	12.845	15.00	30.00	2.42				
250-D	21.050	8.155	12.895	15.00	30.00	2.43	2.4276	34.59 Kg	0.014 m3	70.19
250-E	20.270	7.635	12.635	15.00	30.00	2.38				
250-F	20.955	8.210	12.745	15.00	30.00	2.40	2.3937	34.59 Kg	0.014 m3	69.21

310-A	21.260	8.185	13.075	15.00	30.00	2.47				
310-B	20.430	8.120	12.310	15.00	30.00	2.32	2.3942	34.78 Kg	0.015 m3	68.85
310-C	21.045	8.125	12.920	15.00	30.00	2.44				
310-D	21.030	8.180	12.850	15.00	30.00	2.42	2.4305	34.78 Kg	0.014 m3	69.9
310-E	20.740	7.170	13.570	15.00	30.00	2.56				
310-F	20.240	7.640	12.600	15.00	30.00	2.38	2.4682	34.78 Kg	0.014 m3	70.97

Fuente: Elaboración propia

I-1: CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN EN PYTHON

```
#Importando Librerías
import sklearn

import pandas as pd
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import seaborn as sns

from sklearn.model_selection import train_test_split
from sklearn.neural_network import MLPRegressor

#Exportar la data
data = pd.read_csv('C:/Users/berna/Downloads/DATA/DATOS IA 5 VARIABLES.csv')

#Matriz de correlación
data.corr()
sns.heatmap(data.corr())

#Descripción e información de los datos
data.describe()
data.infor()
```

Ilustración 33 Librerías y manejo de datos. Elaboración propia

```

#Variables de entrada y variable de salida
X = data[data.columns[:-1]].get_values()
y = data[data.columns[-1]].as_matrix()

#Se separan los datos en Entrenamiento y Validacion
X_ent, X_test, y_ent, y_test=train_test_split(X,y)

print(len(X))
print(len(X_ent)) #75%
print(len(X_test)) #25%

#Se crea la red
#Características: Regresion, 10000 ciclos, 2 capas ocultas: 8 y 7 neuronas, BackPropagation, funcion de activacion: RELU
red = MLPRegressor(max_iter=10000, hidden_layer_sizes=(8,7), random_state=1)
red.fit(X_ent,y_ent)

#Se crea la variable predicted y se colocan los datos simulados por la red
predicted = red.predict(X_test)
predicted
#Valores reales de la validacion
y_test

#Grafico de Los Valores reales y Valores simulados
plt.title('ExpectedvsPredicted')
plt.scatter(np.array(range(0,y_test.shape[0])), y_test, color='r', label='expected')
plt.plot(np.array(range(0,y_test.shape[0])), predicted, label='predicted')
plt.legend()

#Grafico de la varianza entre Los Valores reales y Valores simulados
plt.plot(np.array(range(0,y_test.shape[0])), y_test)
plt.plot(np.array(range(0,y_test.shape[0])), predicted)

```

Ilustración 34 Creaciones de la red neuronal artificial. Elaboración propia

```

#Estadística

d = y_test - predicted
#RMSE: Error Cuadrático Medio
rmse = np.sqrt(np.sum(np.power(d,2))/y_test.shape[0])
rmse

#R2 = Coeficiente de Determinación
red.score(X_test,y_test)
R2 = 1 - np.sum( np.power(d,2) ) / np.sum(np.power(y_test-np.mean(y_test),2))
R2

#R: Coeficiente de correlación
R = np.sqrt(R2)
R

```

Ilustración 35 Estadísticas del modelo de RNA. Elaboración propia

```

#Ejemplo, dato real y dato simulado
data.loc[94,:]
resultado = red.predict([[1.523,4.49,7.237,2.875,28]])
resultado

```

Ilustración 36 Ejemplo de un dato real y un dato simulados por la RNA. Elaboración propia

```

#Comprobación
#Exporta una nueva data, datos que la red nunca ha visto
data1 = pd.read_csv('C:/Users/berna/Downloads/DATA/COMPROBACION DATOS.csv')
data1

#Variables de entrada y variable de salida
a = data1[data1.columns[:-1]].get_values()
b = data1[data1.columns[-1]].as_matrix()

#datos reales
b
#Se crea la variable resultado y se colocan los datos predichos a partir de datos de entrada "a"
resultado = red.predict(a)
resultado

#Estadística
d_1 = b - resultado
rmse_1 = np.sqrt(np.sum(np.power(d_1,2))/b.shape[0])
rmse_1
R2_1 = 1 - np.sum( np.power(d_1,2) ) / np.sum(np.power(b-np.mean(b),2))
R2_1
R_1 = np.sqrt(R2_1)
R_1

#Grafico de La varianza entre Los Valores reales y Valores simulados
plt.title('ExpectedvsPredicted')
plt.scatter(np.array(range(0,b.shape[0])), b, color='r', label='expected')
plt.plot(np.array(range(0,b.shape[0])), resultado, label='predicted')
plt.legend()

```

Ilustración 37 Estadística del modelo de redes neuronales artificiales. Elaboración propia


```
In [18]: red_ftrelu = MLPRegressor(max_iter=10000, hidden_layer_sizes=(8,7), random_state=1,activation='relu')
red_ftrelu.fit(X_ent,y_ent)
red_ftrelu.score(X_test,y_test)
```

Out[18]: 0.9397483135200627

```
In [19]: red_ftidentity = MLPRegressor(max_iter=10000, hidden_layer_sizes=(8,7), random_state=1,activation='identity')
red_ftidentity.fit(X_ent,y_ent)
red_ftidentity.score(X_test,y_test)
```

Out[19]: 0.8924748278410641

```
In [20]: red_ftlogistic = MLPRegressor(max_iter=10000, hidden_layer_sizes=(8,7), random_state=1,activation='logistic')
red_ftlogistic.fit(X_ent,y_ent)
red_ftlogistic.score(X_test,y_test)
```

C:\Users\berna\.conda\envs\CAR\lib\site-packages\sklearn\neural_network_multilayer_perceptron.py:617: ConvergenceWarning: Stochastic Optimizer: Maximum iterations (10000) reached and the optimization hasn't converged yet.
% self.max_iter, ConvergenceWarning)

Out[20]: -12.726145315975346

```
In [21]: red_fttanh = MLPRegressor(max_iter=10000, hidden_layer_sizes=(8,7), random_state=1,activation='tanh')
red_fttanh.fit(X_ent,y_ent)
red_fttanh.score(X_test,y_test)
```

C:\Users\berna\.conda\envs\CAR\lib\site-packages\sklearn\neural_network_multilayer_perceptron.py:617: ConvergenceWarning: Stochastic Optimizer: Maximum iterations (10000) reached and the optimization hasn't converged yet.
% self.max_iter, ConvergenceWarning)

Out[21]: -12.191655637807502

Ilustración 38 Comprobaciones de función de activación. Elaboración propia

```

#REDES NEURONALES ARTIFICIALES
#COMPARACIÓN

#Creación de la RNA con dos capas ocultas y su coeficiente de Determinación
def para(x,y):
    red = MLPRegressor(max_iter=10000, hidden_layer_sizes=(x,y), random_state=1)
    red.fit(X_ent,y_ent)
    print([x,y,z],red.score(X_test,y_test))

#Combinaciones
x = range(1,16)
y = range(1,16)

for i in x:
    for j in y:
        para(i,j)

```

Ilustración 39 Combinaciones de redes neuronales artificiales. Elaboración propia

I-2: TECNICA DE CROSS VALIDATION EN EL NIVEL DE CONFIABILIDAD DE LA RED NEURONAL ARTIFICIAL

```
In [43]: results = cross_validate(MLPRegressor(max_iter=10000, hidden_layer_sizes=(8,7),random_state=1,activation='relu'),X,y,return_train_score=True)
Out[43]: {'fit_time': array([6.3467586 , 2.77258229, 3.64313698, 5.79305911, 2.27383733]),
'score_time': array([0.00099778, 0.00100064, 0.00099969, 0.0010004 , 0.00099897]),
'test_score': array([0.32151131, 0.81668954, 0.76723709, 0.78250146, 0.8521674 ]),
'train_score': array([0.90471701, 0.9461439 , 0.94466401, 0.93753089, 0.88732214])}

In [45]: train_scores = results['train_score']
print(np.mean(train_scores))
0.9240755899096763
```

Ilustración 40 Cross Validation y media del nivel de confiabilidad, junto a su tiempo de entrenamiento. Elaboración propia

I-3: COMPARACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES MOSTRANDO SUS CAPAS OCULTAS Y COEFICIENTES DE DETERMINACIÓN

MAXIMO N° CICLOS: 10000

CAPAS OCULTAS: 2

Tabla 99

Capas ocultas y coeficientes de determinación de la RNA

[1, 1] -29.84580910700954

[1, 2] -3.985206637031072

[1, 3] -29.76738274658474

[1, 4] -0.01005186986618467

[1, 5] -0.015168124038303255

[1, 6] -0.01604080641434802

[1, 7] -0.009250869149229679

[1, 8] -0.016149189252477214

[1, 9] -0.016169702341853

[1, 10] -0.016171576864941972

[1, 11] -0.01618690822554525

[1, 12] -0.016202790338242457

[1, 13] -0.016189328687307603

[1, 14] -0.01620122843234606

[1, 15] -0.016171137250559964

[1, 16] -0.01620158331471533

[1, 17] -0.016228101273290774

[1, 18] -0.016215632558118198

[1, 19] -0.016202619160899046
[2, 1] -29.962954403280758
[2, 2] -29.64705153110599
[2, 3] 0.8609954781566546
[2, 4] 0.8610260000406251
[2, 5] -3.612227021535242
[2, 6] -0.02205698945279
[2, 7] 0.8610161048588608
[2, 8] 0.861015882279458
[2, 9] -0.016171373156206093
[2, 10] -0.016188956648431008
[2, 11] 0.8610104501013656
[2, 12] -0.016168829720359046
[2, 13] -0.016169798162176674
[2, 14] -0.009673297264554126
[2, 15] -0.016149299486625468
[2, 16] -0.010837513316271696
[2, 17] 0.8610019995460666
[2, 18] 0.861010122016972
[2, 19] 0.8610019980506072
[3, 1] -29.698175352359318
[3, 2] -30.14868059216368
[3, 3] 0.9059868367979755

[3, 4] 0.8913309606874065
[3, 5] 0.8609374111511886
[3, 6] 0.8609023555591334
[3, 7] 0.8608983946232079
[3, 8] 0.8610768467592166
[3, 9] 0.8609492333517326
[3, 10] 0.8609302269958282
[3, 11] 0.8611973957833552
[3, 12] 0.9132914095125334
[3, 13] 0.8608365063246227
[3, 14] 0.8608182958040205
[3, 15] 0.9297433370814451
[3, 16] 0.8609076518217262
[3, 17] 0.8610967393871425
[3, 18] 0.9299202002695636
[3, 19] 0.8609144955638524
[4, 1] 0.860975175229077
[4, 2] 0.8613460141816275
[4, 3] 0.8611979733140097
[4, 4] 0.8609939142121178
[4, 5] 0.8609910330553027
[4, 6] 0.8609529214514166
[4, 7] 0.8609655535176172

[4, 8] -0.016147709072417582
[4, 9] 0.9064699366338869
[4, 10] 0.8609241531018239
[4, 11] 0.8608970870946082
[4, 12] 0.8609205006777914
[4, 13] 0.8609329372171372
[4, 14] 0.8608700542231602
[4, 15] -0.016201640135872664
[4, 16] 0.860918815682616
[4, 17] 0.8608439784749692
[4, 18] 0.8609066863206691
[4, 19] 0.8609985235864124
[5, 1] -29.561589790354045
[5, 2] 0.8610640965169071
[5, 3] -29.763774327794007
[5, 4] 0.8610100502972715
[5, 5] 0.903602996972738
[5, 6] 0.8609919388946096
[5, 7] 0.8609469901846407
[5, 8] 0.9073693250162068
[5, 9] 0.9033456564205975
[5, 10] 0.9227203867970789
[5, 11] 0.9218241130914391

[5, 12] 0.9154564849549842
[5, 13] 0.9126714967348544
[5, 14] 0.9071717165672559
[5, 15] 0.9150909644266979
[5, 16] 0.903978463893108
[5, 17] 0.9130653254692123
[5, 18] 0.9302056992065926
[5, 19] 0.9127165843451933
[6, 1] 0.8611247367953512
[6, 2] 0.9135553413882193
[6, 3] 0.925401788533686
[6, 4] 0.9068776867141154
[6, 5] 0.8912675894566149
[6, 6] 0.8611088420530518
[6, 7] 0.8611651369860748
[6, 8] 0.8610100628641035
[6, 9] 0.8610407937168767
[6, 10] 0.8612549741425869
[6, 11] 0.8609968906849483
[6, 12] 0.9149552753145387
[6, 13] 0.906438817315588
[6, 14] 0.8609289426403839
[6, 15] 0.9300095044215554

[6, 16] 0.9068963227538256
[6, 17] 0.9198400130300901
[6, 18] 0.8953286721457203
[6, 19] 0.9068990330791838
[7, 1] -29.713553559657857
[7, 2] 0.8610810936172747
[7, 3] 0.8611330782818797
[7, 4] 0.8902642210757695
[7, 5] 0.8911923918378238
[7, 6] 0.8908601637599589
[7, 7] 0.8610704546699998
[7, 8] 0.8909353995486127
[7, 9] 0.905423155705183
[7, 10] 0.8610027909786588
[7, 11] 0.8610609045898224
[7, 12] 0.9137917312526639
[7, 13] 0.8609729576665557
[7, 14] 0.9047666755591451
[7, 15] 0.9201582895253705
[7, 16] 0.8611337980326011
[7, 17] 0.9063666689827943
[7, 18] 0.9034538008517695
[7, 19] 0.8609914343732235

[8, 1] -29.797202158350416
[8, 2] 0.9038543388177053
[8, 3] 0.861022728043469
[8, 4] 0.8610987931351803
[8, 5] 0.8610372632648349
[8, 6] 0.8610153846397571
[8, 7] 0.9271279808530671
[8, 8] 0.8909157605268722
[8, 9] 0.891031675768801
[8, 10] 0.8610903264619848
[8, 11] 0.9164820829435348
[8, 12] 0.919890264342096
[8, 13] 0.90361566566209
[8, 14] 0.9048133044870245
[8, 15] 0.8611286600822814
[8, 16] 0.861050406516769
[8, 17] 0.8610780039547916
[8, 18] 0.9228749174806825
[8, 19] 0.9040327524878013
[9, 1] -29.848621798839883
[9, 2] -29.547804926310594
[9, 3] 0.8916571182447173
[9, 4] 0.9034960203701945

[9, 5] 0.9131878595353319
[9, 6] 0.8612977993184595
[9, 7] 0.91317154132082
[9, 8] 0.8612897425113782
[9, 9] 0.8911014849333068
[9, 10] 0.8613531566960283
[9, 11] 0.8903196251796703
[9, 12] 0.8902757868076856
[9, 13] 0.9147516640274563
[9, 14] 0.9163647334831582
[9, 15] 0.9155092840792585
[9, 16] 0.8612615553036612
[9, 17] 0.913254158080933
[9, 18] 0.9220701001719762
[9, 19] 0.8611590799820018
[10, 1] -30.231855047032365
[10, 2] 0.9120690569253657
[10, 3] -29.609012104989542
[10, 4] 0.8903434608484696
[10, 5] 0.8611507674520889
[10, 6] 0.8610639337639069
[10, 7] 0.9210118126807564
[10, 8] 0.9214618366217064

[10, 9] 0.891320258672513
[10, 10] 0.8611593650536943
[10, 11] 0.8610747923427609
[10, 12] 0.9146668821765916
[10, 13] 0.9133393787795471
[10, 14] 0.904082804707143
[10, 15] 0.861176848130378
[10, 16] 0.8610804003584063
[10, 17] 0.8612504549067179
[10, 18] 0.8913755733556944
[10, 19] 0.9126269039509309
[11, 1] 0.8610478269270364
[11, 2] 0.8610911324245942
[11, 3] 0.9174669723781753
[11, 4] 0.8610667816177333
[11, 5] 0.8609718249770267
[11, 6] 0.8610549608969778
[11, 7] 0.922695555681159
[11, 8] 0.8609583370911067
[11, 9] 0.9039118290471928
[11, 10] 0.906756262769332
[11, 11] 0.8609274774722779
[11, 12] 0.8900369467403619

[11, 13] 0.8904314357008203
[11, 14] 0.8905418528853111
[11, 15] 0.8611585593520088
[11, 16] 0.8899138342995953
[11, 17] 0.8608909799369276
[11, 18] 0.9067649200168248
[11, 19] 0.860981198097126
[12, 1] 0.8611162591180882
[12, 2] 0.8608082333507117
[12, 3] 0.8609584839522608
[12, 4] 0.8608472486858127
[12, 5] 0.8608601031584305
[12, 6] 0.8609660052925997
[12, 7] 0.8608546526560142
[12, 8] 0.8914562682789828
[12, 9] 0.918959171472254
[12, 10] 0.9218616535349239
[12, 11] 0.86118975792006
[12, 12] 0.9210569254081025
[12, 13] 0.9221310633085262
[12, 14] 0.8608527135137796
[12, 15] 0.8607492310814917
[12, 16] 0.861040139506019

[12, 17] 0.9207274110094055
[12, 18] 0.9235281237851408
[12, 19] 0.9158680127532683
[13, 1] -29.807804982125166
[13, 2] 0.8611360581975362
[13, 3] -30.057395731545164
[13, 4] 0.8611435829938224
[13, 5] 0.860974709113696
[13, 6] 0.8610573177688566
[13, 7] 0.8608947317083125
[13, 8] 0.9220445247535636
[13, 9] 0.8898946004834883
[13, 10] 0.9222295166111952
[13, 11] 0.8909887825349476
[13, 12] 0.8611845268361888
[13, 13] 0.8611612588711
[13, 14] 0.8610536546251634
[13, 15] 0.8901071879477674
[13, 16] 0.8611146358595254
[13, 17] 0.9064935076316334
[13, 18] 0.9233850486973497
[13, 19] 0.9150417738113945
[14, 1] 0.909516435639635

[14, 2] 0.8610733613280012
[14, 3] 0.8610323447815931
[14, 4] -29.846847065997437
[14, 5] 0.8913174390941253
[14, 6] 0.9142777970942317
[14, 7] 0.9223597702118482
[14, 8] 0.9234270039252745
[14, 9] 0.8907722457532234
[14, 10] 0.8608528138899135
[14, 11] 0.9228717588329248
[14, 12] 0.9301842842756786
[14, 13] 0.861165459581516
[14, 14] 0.9143218785687008
[14, 15] 0.9140949641871725
[14, 16] 0.9225143704177712
[14, 17] 0.8610340055332344
[14, 18] 0.9028671413195573
[14, 19] 0.9206282914788839
[15, 1] -29.470803295051457
[15, 2] -29.60061755700497
[15, 3] 0.9137049136231624
[15, 4] 0.8610697417373718
[15, 5] 0.921381840661601

[15, 6] 0.8609967509020491
[15, 7] 0.9215003265075707
[15, 8] 0.9152443250150761
[15, 9] 0.9142179619740229
[15, 10] 0.9144792826378129
[15, 11] 0.9214842818001778
[15, 12] 0.9219327377843612
[15, 13] 0.9200894654349301
[15, 14] 0.9117891449211903
[15, 15] 0.9038190433214665
[15, 16] 0.8909652367723282
[15, 17] 0.9093028122723903
[15, 18] 0.9140080655055789
[15, 19] 0.9234561890069389
[16, 1] 0.8610616349045447
[16, 2] 0.8611562541941447
[16, 3] 0.8610992528826333
[16, 4] 0.9104183199782521
[16, 5] 0.9225186077788379
[16, 6] 0.9137573209673188
[16, 7] 0.9130587205138324
[16, 8] 0.8907857565866558
[16, 9] 0.9193999441275743

[16, 10] 0.922675490023589
[16, 11] 0.9315781041018178
[16, 12] 0.9217371493847816
[16, 13] 0.8610209985393817
[16, 14] 0.9146583360797135
[16, 15] 0.8610887392921486
[16, 16] 0.8608686807819039
[16, 17] 0.86108591973755
[16, 18] 0.9204521238817852
[16, 19] 0.8611099062035946
[17, 1] -30.341887571168556
[17, 2] 0.9219602588355817
[17, 3] 0.9213098013763222
[17, 4] 0.8611660234175325
[17, 5] 0.913947025179544
[17, 6] 0.9216765556640272
[17, 7] 0.9135250736680229
[17, 8] 0.9131761475094284
[17, 9] 0.9274397725055529
[17, 10] 0.8612774629762687
[17, 11] 0.8612147264920078
[17, 12] 0.8612453686098893
[17, 13] 0.8612755199681751

[17, 14] 0.8616199654133934
[17, 15] 0.9308903707819994
[17, 16] 0.9143785062258136
[17, 17] 0.8611973604070089
[17, 18] 0.8611742567742706
[17, 19] 0.9128455972586348
[18, 1] 0.8610736324442411
[18, 2] -29.836236097425623
[18, 3] -29.81079182418785
[18, 4] 0.861056919342776
[18, 5] 0.8609172357026661
[18, 6] 0.8610285422173236
[18, 7] 0.8610764786216363
[18, 8] 0.8610007811275152
[18, 9] 0.8902702535462396
[18, 10] 0.921507871782191
[18, 11] 0.9214112200565008
[18, 12] 0.9191711934915218
[18, 13] 0.9187229708704725
[18, 14] 0.8610115559226927
[18, 15] 0.8609406634156581
[18, 17] 0.8609600255845297
[18, 18] 0.8609200263924869

[18, 19] 0.8610155240935033
[19, 1] 0.913019868570959
[19, 2] -30.12340648234534
[19, 3] 0.8610493155161969
[19, 4] 0.9130707289410218
[19, 5] 0.9131140704892903
[19, 6] 0.9216321472090111
[19, 7] 0.9133713043216086
[19, 8] 0.9143935749427587
[19, 9] 0.9129984610209508
[19, 10] 0.8610865500027712
[19, 11] 0.9134965680379423
[19, 12] 0.929242135227495
[19, 13] 0.9221807592265677
[19, 14] 0.9131055887420508
[19, 15] 0.8610552017444071
[19, 16] 0.9169703407504058
[19, 17] 0.8609996433453933
[19, 18] 0.9216939555717102

Fuente: Elaboración propia

ANEXO J

J-1: OBTENCIÓN DE AGREGADO PROVENIENTE DE LA CANTERA TRES TOMAS



Ilustración 41 Estratigrafía de la cantera tres tomas 6°37'19.276" S 79°42'12.107" W. Elaboración propia



Ilustración 42 Punto de extracción del agregado grueso proveniente de la cantera Tres Tomas. Elaboración propia



Ilustración 43 Punto de extracción de los agregados. Elaboración propia

J-2: OBTENCIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS PROVENIENTE DE LA CANTERA TRES TOMAS



Ilustración 44 Realización del ensayo de peso unitario compactado del agregado grueso. Elaboración propia



Ilustración 45 Análisis granulométrico del agregado grueso. Elaboración propia



Ilustración 46 Pesado de muestra en balanza manual, que fue utilizado en el ensayo de contenido de humedad.
Elaboración propia



Ilustración 47 Elaboración del ensayo para obtención del peso específico del agregado fino, haciendo uso del matraz. Elaboración propia



Ilustración 48 Hermetización de muestras, para evitar la variabilidad de sus propiedades originales de los agregados que fueron utilizadas en diversos ensayos. Elaboración propia

J-3: ELABORACIÓN DE PROBETAS



Ilustración 49 Varillado de mezcla de concreto fresco en moldes 6"x 12". Elaboración propia



Ilustración 50 Eliminación de burbujas de aire de las probetas haciendo uso del mazo de goma. Elaboración propia



Ilustración 51 Elaboración de mezclas de concreto. Elaboración propia



Ilustración 52 Probetas cilíndricas elaboradas en el Laboratorio de Ensayo de Materiales, cuyas dimensiones son 6" x 12". Elaboración propia

J-4: ROTURA DE PROBETAS



Ilustración 53 Rotura de probeta cuya resistencia es de 175 Kg/cm^2 con 28 días de edad, en donde se observa una falla tipo V debido a que presenta fractura en una de sus bases. Elaboración propia



Ilustración 54 Rotura de probeta cuya resistencia es de 280 Kg/cm^2 con 28 días de edad, en donde se observa una falla tipo III debido que hubo concavidad en una de las placas de la carga. Elaboración propia



Ilustración 55 Rotura de probeta cuya resistencia es de 280 Kg/cm^2 con 14 días de edad, en donde se observa una falla tipo V. Elaboración propia



Ilustración 56 Rotura de probeta cuya resistencia es de 280 Kg/cm^2 con 14 días de edad, en donde se observa una falla tipo IV debido a que la probeta resistió una carga cercana al valor proyectado. Elaboración propia



Ilustración 57 Rotura de probeta cuya resistencia es de 280 Kg/cm^2 con 7 días de edad, observándose una falla tipo V. Elaboración propia



Ilustración 58 Rotura de probeta cuya resistencia es de 310 Kg/cm^2 con 14 días de edad, observándose una falla tipo IV debido a que la probeta resistió una carga cercana al valor proyectado . Elaboración propia



Ilustración 59 Rotura de probeta en el laboratorio de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil, Sistemas y Arquitectura en la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Elaboración propia



Ilustración 60 Rotura de probetas a los 28 días de edad en el laboratorio de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil, Sistemas y Arquitectura en la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Elaboración propia

J-5: CERTIFICADO DE PRENSA DE CONCRETO



PERUTEST S.A.C
CALIBRACIÓN Y MANTENIMIENTO DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS DE LABORATORIO
SUELOS - MATERIALES - CONCRETOS - ASFALTO - ROCAS - FISICA - QUIMICA
RUC N° 20602182721

Área de Metrología
Laboratorio de Fuerza

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
PTC - LF - 001 - 2020

Página 1 de 3

1. Expediente	001-2019	<p>Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).</p>
2. Solicitante	UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO	
3. Dirección	Calle Juan XXIII Nro. 391 Lambayeque	
4. Equipo	PRENSA DE CONCRETO	<p>Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamento vigente.</p> <p>PERUTEST S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.</p> <p>Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.</p> <p>El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.</p>
Capacidad	125000 kgf	
Marca	3NM	
Modelo	NO INDICA	
Número de Serie	8905-67	
Procedencia	RUSIA	
Identificación	NO INDICA	
Indicación	ANALÓGICO	
Marca	NO INDICA	
Modelo	NO INDICA	
Número de Serie	NO INDICA	
Resolución	250 kgf	
Ubicación	NO INDICA	
5. Fecha de Calibración	2019-12-30	

Fecha de Emisión

2020-01-02

Jefe del Laboratorio de Metrología



MANUEL ALEJANDRO ALIAGA TORRES

Sello



913028621 - 913028622
913028623 - 913028624
ventas@perutest.com.pe
www.perutest.com.pe

Jr. La Madrid S/N Mz E lote 14 urb Los Olivos
San Martín de Porres - Lima
SUCURSAL: Sinchi Roca 1320 - la Victoria - Chiclayo

Ilustración 61 Certificado de calibración de prensa de concreto del laboratorio de ensayo de materiales de la Facultad de Ingeniería Civil, Sistemas y Arquitectura de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Área de Metrología
Laboratorio de Fuerza

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
PTC - LF - 001 - 2020

Página 2 de 3

6. Método de Calibración

La calibración se realizó por el método de comparación directa utilizando patrones trazables al SI calibrados en las instalaciones del LEDI-PUCP tomado como referencia el método descrito en la norma UNE-EN ISO 7500-1 "Verificación de Máquinas de Ensayo Uniaxiales Estáticas. Parte 1: Máquinas de ensayo de tracción/compresión. Verificación y calibración del sistema de medida de fuerza." - Julio 2006.

7. Lugar de calibración

Laboratorio de Materiales de la FICSA - UNPRG - Lambayeque
Calle Juan XXIII Nro. 391 Lambayeque

8. Condiciones Ambientales

	Inicial	Final
Temperatura	22.5 °C	22.5 °C
Humedad Relativa	61 % HR	61 % HR

9. Patrones de referencia

Trazabilidad	Patrón utilizado	Informe/Certificado de calibración
Celdas patrones calibradas en PUCP - Laboratorio de estructuras antisísmicas	CELDA DE CARGA KELI MOD: 150-A E SERIE: 5Y97826	INF-LE 272 -18

10. Observaciones


- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación CALIBRADO.
- Durante la realización de cada secuencia de calibración la temperatura del equipo de medida de fuerza permanece estable dentro de un intervalo de $\pm 2,0$ °C.
- El equipo no indica clase sin embargo cumple con el criterio para máquinas de ensayo uniaxiales de clase de 2.0 según la norma UNE-EN ISO 7500-1.



913028621 - 913028622
913028623 - 913028624
ventas@perutest.com.pe
www.perutest.com.pe

Jr. La Madrid S/N Mz E lote 14 urb Los Olivos
San Martín de Porres - Lima
SUCURSAL: Sinchi Roca 1320-la Victoria - Chiclayo

Ilustración 62 Certificado de calibración de prensa de concreto del laboratorio de ensayo de materiales de la Facultad de Ingeniería Civil, Sistemas y Arquitectura de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.


PERUTEST S.A.C
 CALIBRACIÓN Y MANTENIMIENTO DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS DE LABORATORIO
 SUELOS - MATERIALES - CONCRETOS - ASFALTO - ROCAS - FISICA - QUIMICA
 RUC N° 20602182721

Área de Metrología
 Laboratorio de Fuerza

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
PTC - LF - 001 - 2020

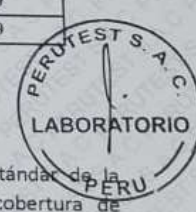
Página 3 de 3

11. Resultados de Medición

Indicación del Equipo		Indicación de Fuerza (Ascenso) Patrón de Referencia			
%	F_t (kgf)	F_1 (kgf)	F_2 (kgf)	F_3 (kgf)	$F_{Promedio}$ (kgf)
10	12500	12665.3	12665.3	12665.3	12665.3
20	25000	25097.5	25097.5	25097.5	25097.5
30	37500	37545.4	37545.4	37545.4	37545.4
40	50000	49999.0	49999.0	49999.0	49999.0
50	62500	62508.2	62508.2	62508.2	62508.2
60	75000	75038.1	75038.1	75038.1	75038.1
70	87500	87593.6	87593.6	87593.6	87593.6
80	100000	100200.0	100200.0	100200.0	100200.0
90	112500	112842.3	112842.3	112842.3	112842.3
100	125000	125490.2	125490.2	125490.2	125490.2
Retorno a Cero		0.0	0.0	0.0	

Indicación del Equipo F (kgf)	Errores Encontrados en el Sistema de Medición				Incertidumbre U (k=2) (%)
	Exactitud a (%)	Repetibilidad b (%)	Reversibilidad v (%)	Resol. Relativa a (%)	
12500	-1.31	0.00	0.00	2.00	1.29
25000	-0.39	0.00	0.00	1.00	0.81
37500	-0.12	0.00	0.00	0.67	0.69
50000	0.00	0.00	0.00	0.50	0.64
62500	-0.01	0.00	0.00	0.40	0.62
75000	-0.05	0.00	0.00	0.33	0.61
87500	-0.11	0.00	0.00	0.29	0.60
100000	-0.20	0.00	0.00	0.25	0.59
112500	-0.30	0.00	0.00	0.22	0.59
125000	-0.39	0.00	0.00	0.20	0.59

MÁXIMO ERROR RELATIVO DE CERO (f_0)	0.00 %
---	--------



12. Incertidumbre

La incertidumbre expandida de medición se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar de la medición por el factor de cobertura $k=2$, el cual corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente 95%.

La incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de incertidumbre de los factores de influencia en la calibración. La incertidumbre indicada no incluye una estimación de variaciones a largo plazo.

☎ 913028621 - 913028622
 913028623 - 913028624
 ✉ ventas@perutest.com.pe
 🌐 www.perutest.com.pe

📍 Jr. La Madrid S/N Mz E lote 14 urb Los Olivos
 San Martín de Porres - Lima
 SUCURSAL: Sinchi Roca 1320-Ia Victoria - Chiclayo

Ilustración 63 Certificado de calibración de prensa de concreto del laboratorio de ensayo de materiales de la Facultad de Ingeniería Civil, Sistemas y Arquitectura de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

J-6: CONSTANCIA DE ENSAYOS REALIZADOS EN EL LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES Y ESTRUCTURA



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL DE SISTEMAS Y DE ARQUITECTURA
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES Y ESTRUCTURA



CONSTANCIA 002-2020 / VIRTUAL / LEME – FICSA

El que suscribe, Jefe del Laboratorio de Ensayo de Materiales y Estructuras de la Facultad de Ingeniería Civil de Sistemas y de Arquitectura de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

HACE CONSTAR:

Que los Bachilleres de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil:

Angie Jesús Sandoval Gil
Jonathan Martín Bernabé Nuntón

Ha realizado sus ensayos, desde el 9 de Setiembre 2019 al 5 de Diciembre del 2019, en este Laboratorio.

TIPOS DE ENSAYO	CANTIDAD
• CONTENIDO DE HUMEDAD AGREGADO FINO	(03)
• CONTENIDO DE HUMEDAD AGREGADO GRUESO	(03)
• PESO UNITARIO SUELTO AGREGADO FINO	(03)
• PESO UNITARIO SUELTO AGREGADO GRUESO	(03)
• PESO UNITARIO VARILLADO AGREGADO FINO	(03)
• PESO UNITARIO VARILLADO AGREGADO GRUESO	(03)
• ANALISIS GRANULOMETRICO AGREGADO FINO	(02)
• ANALISIS GRANULOMETRICO AGREGADO GRUESO	(02)
• PESO ESPECIFICO DE MASA DEL AGREGADO FINO	(01)
• PESO ESPECIFICO DE MASA DEL AGREGADO GRUESO	(01)
• GRADO DE ABSORCION DE AGREGADO FINO	(01)
• GRADO DE ABSORCION DE AGREGADO GRUESO	(01)
• MATERIAL QUE PASA MALLA N° 200 AG. FINO	(03)
• DISEÑO DE MEZCLA 210 kg/cm ²	(54)
• DISEÑO DE MEZCLA 175 kg/cm ²	(54)
• DISEÑO DE MEZCLA 250 kg/cm ²	(54)
• DISEÑO DE MEZCLA 280 kg/cm ²	(54)
• DISEÑO DE MEZCLA 310 kg/cm ²	(54)
• DISEÑO DE MEZCLA 100 kg/cm ²	(8)
• DISEÑO DE MEZCLA 240 kg/cm ²	(8)
• DISEÑO DE MEZCLA 315 kg/cm ²	(8)
• DISEÑO DE MEZCLA 140 kg/cm ²	(8)
• ROTURA DE PROBETAS	(204)

Para dar cumplimiento a un capítulo de su proyecto de Tesis: "APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES EN EL ENSAYO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO, UTILIZANDO AGREGADOS DE LA CANTERA TRES TOMAS, DISTRITO MESONES MURO – PROVINCIA FERREÑAFE – REGIÓN LAMBAYEQUE".

Se expide la presente constancia, a solicitud de los interesados para los fines que estime conveniente.

Lambayeque 14 de Diciembre 2020

ING. OVIDIO SERRANO ZELADA
JEFE (e) –LEME - FICSA

Ilustración 64 Constancia de ensayos realizados en el laboratorio de ensayo de materiales y estructuras de la Facultad de Ingeniería Civil, Sistemas y Arquitectura de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo