

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL**



**Predicción de la resistencia a la compresión del concreto usando redes neuronales artificiales**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL AMBIENTAL**

**AUTOR**

**David Henry Bernilla Rodriguez**

**ASESOR**

**Angel Antonio Ruiz Pico**

<https://orcid.org/0000-0003-2638-0593>

**Chiclayo, 2024**

**Predicción de la resistencia a la compresión del concreto usando  
redes neuronales artificiales**

PRESENTADA POR  
**David Henry Bernilla Rodriguez**

A la Facultad de Ingeniería de la  
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo  
para optar el título de

**INGENIERO CIVIL AMBIENTAL**

APROBADA POR

Juan Jacobo Sánchez Bautista  
PRESIDENTE

José Alberto Acero Martínez  
SECRETARIO

Angel Antonio Ruíz Pico  
VOCAL

## **Dedicatoria**

Dedico este trabajo a mis padres, cuyo amor, apoyo y sacrificio inquebrantables han sido mi mayor inspiración y motivación en mi camino académico. También agradezco a mis respetados profesores de la universidad, cuya sabiduría y orientación han iluminado mi camino hacia el conocimiento y el crecimiento personal. Sus enseñanzas y paciencia han sido invaluable para mi formación. Este logro es un testimonio de su confianza en mí, y espero que este trabajo sea un homenaje a su fe en mi capacidad para alcanzar metas.

## **Agradecimientos**

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a todos aquellos que han sido parte de este viaje académico y han contribuido de diversas maneras. A mis padres, por su amor incondicional y apoyo constante a lo largo de este camino. A mis profesores, por compartir su conocimiento y guiar mi aprendizaje.

También agradezco a mis compañeros de clase, cuyas discusiones y colaboración enriquecieron mi comprensión. A las instituciones y personas que proporcionaron los recursos y datos necesarios para llevar a cabo esta investigación. A todos ustedes, les estoy profundamente agradecido por ser parte de este logro. Sus contribuciones y apoyo han sido fundamentales en mi trayecto académico.

## TESIS

### INFORME DE ORIGINALIDAD

25%

INDICE DE SIMILITUD

24%

FUENTES DE INTERNET

7%

PUBLICACIONES

9%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

### FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="http://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	7%
2	<a href="http://tesis.usat.edu.pe">tesis.usat.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
3	<a href="http://repositorio.uncp.edu.pe">repositorio.uncp.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
4	<a href="http://repositorio.uss.edu.pe">repositorio.uss.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
5	Submitted to Universidad Andina del Cusco Trabajo del estudiante	1%
6	<a href="http://repositorio.upn.edu.pe">repositorio.upn.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
7	<a href="http://repositorio.unc.edu.pe">repositorio.unc.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
8	<a href="http://repositorio.unh.edu.pe">repositorio.unh.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%
9	"Modelos predictivos de las características prestacionales de hormigones fabricados en	<1%

## ÍNDICE

Resumen .....	9
Abstract .....	10
1. Introducción .....	11
2. Revisión de la literatura.....	13
2.1. Antecedentes .....	13
2.2. Bases teoricas .....	16
2.3. Propiedades del concreto.....	21
2.4. Redes neuronales artificiales (RNA).....	22
2.5. Tensorflow .....	24
2.6. Neuronas .....	27
2.7. Ensayo de materiales.....	27
3. Materiales y métodos .....	32
3.1. Tipo y nivel de investigación .....	32
3.2. Diseño de investigación .....	32
3.3. Diagrama de flujo del desarrollo de la investigación.....	32
3.4. Población, muestra y muestreo .....	34
3.5. Variables en indicadores .....	35
3.6. Técnicas e instrumento de recolección de datos .....	36
3.7. Tabla de operacionalización de variables .....	37
3.8. Procedimientos.....	37
3.9. Matriz de consistencia.....	39
4. Resultados .....	40
4.1. Recolección de datos.....	40
4.2. Programación .....	41
4.3. Lugar de procedencia de los agregados para las muestras de control.....	48
4.4. Ensayos realizados al agregado fino .....	49

4.4. Ensayos realizados al agregado fino .....	49
4.5. Ensayos realizados al agregado grueso .....	52
4.6. Comparación de los optimizadores .....	57
4.7. Evaluación de la red neuronal para predecir el valor del $f^c$ .....	58
4.8. Influencia del tipo de cemento en el $f^c$ del concreto a los 28 días .....	59
4.9. Influencia del peso específico del cemento en el $f^c$ del concreto a los 28 días .....	60
4.10. Influencia de la relación agua – cemento en el $f^c$ del concreto a los 28 días .....	61
4.11. Influencia del MF de los agregados en el $f^c$ del concreto a los 28 días.....	62
4.12. Influencia del peso específico de los agregados en el $f^c$ del concreto a los 28 días	63
4.13. Influencia del TMN del agregado grueso en el $f^c$ del concreto .....	65
4.14. Influencia del porcentaje de absorción de los agregados en el $f^c$ del concreto a los 28 días .....	66
4.15. Influencia de la cantidad de los agregados en el $f^c$ del concreto a los 28 días .....	68
4.16. Diseño base de la interfaz .....	70
5. Discusión.....	70
5.1. Ensayos en laboratorio .....	71
5.1. Ensayo del $f^c$ de probetas de concreto .....	71
5.2. Comportamiento de la red neuronal .....	71
5.3. Influencia del tipo de cemento en el $f^c$ del concreto .....	72
5.4. Influencia del peso específico del cemento en el $f^c$ del concreto .....	72
5.5. Influencia de la relación agua – cemento en el $f^c$ del concreto .....	72
5.6. Influencia del MF de los agregados en el $f^c$ del concreto .....	72
5.7. Influencia del peso específico de los agregados en el $f^c$ del concreto.....	72
5.8. Influencia del TMN del agregado grueso en $f^c$ del concreto.....	73
5.9. Influencia del porcentaje de absorción de los agregados en el $f^c$ del concreto .....	73
5.10. Influencia de la cantidad de los agregados en el $f^c$ del concreto .....	73
6. Conclusiones .....	73
7. Recomendaciones.....	74

8. Referencias .....	76
9. Anexos.....	80
9.1. Aplicación numérica .....	80
9.2. Panel fotográfico .....	82

## Lista de código Python

Código Python 1 Creación de la base de datos MySQL .....	42
Código Python 2 Esquema de las funciones creadas para exportar datos de Excel a MySQL	44
Código Python 3 Función para exportar los datos de f'c real.....	44
Código Python 4 Función para exportar los datos de agua .....	44
Código Python 5 Función para exportar los datos de cemento .....	44
Código Python 6 Función para exportar datos de agregado fino .....	45
Código Python 7 Función para exportar datos de agregado grueso .....	45
Código Python 8 Modelo de la red neuronal.....	47
Código Python 9 Esquema extraer los datos de MySQL .....	47
Código Python 10 Datos de entrada obtenido de MySQL .....	48
Código Python 11 Datos de salida obtenida de MySQL.....	48
Código Python 12 Modelo guardado .....	58

## Resumen

El concreto es el material de construcción más ampliamente utilizado en la actualidad debido a su excepcional capacidad para resistir fuerzas de compresión, comúnmente denominadas como  $f_c$ . La obtención del valor de  $f_c$  del concreto involucra la realización de diversos ensayos, siendo el ensayo a compresión simple o uniaxial en probetas de concreto el más comúnmente empleado, evaluando la resistencia a diferentes intervalos de tiempo. Lamentablemente, estas probetas suelen ser desechadas al aire libre, contribuyendo a la contaminación ambiental. En esta investigación, se enfoca en la predicción del valor de  $f_c$  del concreto a los 28 días mediante un modelo predictivo basado en redes neuronales artificiales. Los datos de entrada comprenden propiedades de los agregados, tipo de cemento y las proporciones de sus componentes, como agua, cemento y agregados. El único dato de salida es el valor real de  $f_c$  obtenido en el ensayo de compresión simple. Estos datos se recopilaron de varios laboratorios en el norte de Perú. La red neuronal se construyó utilizando TensorFlow de Google, con dos capas ocultas que constan de 16 y 8 neuronas respectivamente, y se entrenó durante 450 épocas. Se obtuvo una exactitud en la predicción mayor al 90% en el rango de 210 a 335 kg/cm<sup>2</sup>.

**Palabras clave:** Concreto, Redes neuronales, Predicción, Resistencia a la compresión, Impacto ambiental

## Abstract

Concrete is currently the most widely used construction material due to its exceptional ability to withstand compressive forces, commonly referred to as CS. Determining the CS value of concrete involves conducting various tests, with the uniaxial or simple compression test on concrete specimens being the most employed, assessing resistance at different time intervals. Unfortunately, these test specimens are often discarded outdoors, contributing to environmental pollution. This research focuses on predicting the CS value of concrete at 28 days using a predictive model based on artificial neural networks. Input data include aggregate properties, cement type, and their component proportions such as water, cement, and aggregates. The only output data is the actual CS value obtained from the simple compression test. This data was collected from multiple laboratories in northern Peru. The neural network was constructed using Google's TensorFlow, with two hidden layers consisting of 16 and 8 neurons, respectively, and trained for 450 epochs. Prediction accuracy exceeded 90% in the range of 210 to 335 kg/ cm<sup>2</sup>.

**Keywords:** Concrete, Neural Networks, Prediction, Compressive Strength, Environmental Impact.

## 1. Introducción

El concreto, un material esencial en ingeniería civil es conocido por su excepcional adaptabilidad y notable resistencia a la compresión [1]. Está hecho de una mezcla controlada de agua, agregados y cemento. En ocasiones, se incorporan aditivos minerales o químicos [2]. La característica más crucial que determina la calidad del concreto es su resistencia a la compresión [3].

El proceso para determinar el  $f'c$  a menudo implica un diseño de mezcla que establece las cantidades precisas de agregados, cemento, agua y, a veces, aditivos. Sin embargo, a menudo existe una variación en el  $f'c$  medida en los ensayos de laboratorio, con la fuerza superando o quedando por debajo de las especificaciones diseñadas. Además, la práctica común de desechar especímenes de prueba de concreto en exteriores después de los ensayos contribuye a la contaminación ambiental.

La inteligencia artificial ha surgido como una herramienta poderosa para predecir el  $f'c$  del concreto para abordar este problema. Una subfamilia de modelos de aprendizaje automático llamada redes neuronales artificiales (RNA) tiene como objetivo replicar cómo funciona el sistema neural biológico. Son particularmente útiles para resolver problemas complejos en los que las relaciones entre los factores son difíciles de determinar directamente, pero pueden deducirse de los datos disponibles [5].

En algoritmos de aprendizaje supervisado, los errores de predicción se reducen significativamente a medida que aumenta el número de muestras de datos, ya que los ajustes de los pesos se vuelven más refinados. En la práctica, una red neuronal tiende a producir mejores resultados cuando se le proporciona una cantidad sustancial de datos, mejorando la precisión de las predicciones [6].

Para abordar problemas complejos y no lineales en la predicción de  $f'c$  del concreto, este estudio busca integrar elementos fundamentales de las redes neuronales artificiales [7]. Esto ofrece una alternativa rentable a los experimentos de laboratorio extensos. Python, un lenguaje de programación avanzado de código abierto, fue elegido por su accesibilidad y compatibilidad incluso con configuraciones de sistema mínimas [8].

Resumiendo, el objetivo general de esta investigación es predecir el valor del  $f'c$  del concreto usando redes neuronales artificiales entrenada con los datos de diseño de mezcla y su  $f'c$  obtenida en laboratorio. Para lograrlo, se utilizarán como datos los valores de  $f'c$  obtenidos en el ensayo de compresión simple de las probetas de concreto de los diferentes laboratorios, teniendo como propósito comparar las resistencias a compresión obtenidos por la red neuronal y por los ensayos hechos en el laboratorio considerando diferentes tipos

agregados utilizados en la zona, **los objetivos específicos de esta investigación** son, crear una red neuronal artificial en Python para predecir el  $f'c$  del concreto con un nivel de exactitud mayor al 90%, determinar la influencia de los tipos de cemento en el  $f'c$  del concreto, determinar la influencia de la relación agua – cemento en el  $f'c$  del concreto, determinar la influencia del peso específico del cemento en el  $f'c$  del concreto, determinar la influencia del módulo de fineza del agregado fino y grueso en el  $f'c$  del concreto, determinar la influencia del peso específico del agregado fino y grueso en el  $f'c$  del concreto, determinar la influencia del TMN del agregado grueso en el  $f'c$  del concreto, determinar la influencia de la absorción del agregado fino y grueso en el  $f'c$  del concreto, determinar la influencia de la cantidad de agregado fino y grueso en el  $f'c$  del concreto, diseñar el entorno gráfico para el manejo de los datos.

En la ingeniería civil, para garantizar la durabilidad y el rendimiento de las estructuras, es esencial construir con concreto de alta calidad. La RNA se entrena utilizando datos de pruebas de laboratorio, y su implementación proporciona una alternativa rentable a los costosos ensayos tradicionales para la predicción precisa de la resistencia del concreto. Además, el uso de esta RNA reduce la dependencia de probetas de concreto en ensayos destructivos, lo que reduce la contaminación ambiental.

## 2. Revisión de la literatura

### 2.1. Antecedentes

#### 2.1.1. *Antecedentes internacionales*

[9] Divyah Nagarajan en el artículo “A comparative study on prediction models for strength properties of LWA concrete using artificial neural network” la cual tiene como finalidad crear un modelo de RNA para predecir esfuerzos a compresión, tracción y flexión para concretos con agregado liviano hecho de ceniza volante sintetizado. Se utilizó el algoritmo de Levenberg-Marquardt (LM), este algoritmo usa redes de alimentación en capas, donde las señales se envían hacia adelante y los errores se dispersan hacia atrás. El modelo fue creado basándose en resultados obtenidos de experimentos de laboratorio, el total de mezclas obtenidas de los laboratorios fue de 147, de las cuales el 70% se usó para entrenar a la red neuronal, el 15% para prueba y el 15% restante para la etapa de validación. El error de un algoritmo de aprendizaje supervisado disminuye significativamente con más vectores de datos y los pesos se ajustan a un mejor nivel. Las propiedades mecánicas correspondiente se determinaron a los 28 días de edad, y para cada mezcla se determinaron cinco factores influyentes como el cemento, agregado grueso y fino, superplastificante y la relación agua-cemento, estos datos formaran parte de un vector entrada. Y como dato de salida tendríamos las propiedades del concreto descritas, compresión, tracción y flexión para la edad de 28 días. Dichos modelos desarrollados tuvieron más precisión para la predicción del  $f'c$  con un 95.5%, 94.9% para la predicción de la resistencia a la tracción, y 92.8% para la resistencia a la flexión. Se considero como antecedente debido a que se usó una red neuronal para predecir el  $f'c$  del concreto; Además, supera el 90% de precisión.

[10] Ngunjiri Ngandu en el artículo “Predicción de resistencias a la compresión para concreto con agregado fino plástico parcial utilizando redes neuronales y revisiones” tiene como finalidad analizar modelos de predicción de  $f'c$  del concreto basada en redes neuronales artificiales con el lenguaje de programación octave, dicho concreto estará elaborado con desechos plásticos como reemplazo parcial del agregado fino, para poder disminuir la demanda y consecuencias negativas de la extracción de arena a largo del tiempo. Los modelos se construyeron a partir de 31 conjuntos de datos de ocho diferentes orígenes para las etapas de entrenamiento, 6 para las etapas de validación y 7 para las etapas de prueba. Además, se obtuvieron cuatro variables para formar el vector entrada, que incluían la relación agua-cemento, el control del FC, el porcentaje de sustitución de plástico

y el tipo de plástico utilizado; y el vector de salida fue el FC con agregados plásticos. El modelo seleccionado tiene 320 mil iteraciones y catorce nodos en la capa oculta. Como resultado de los experimentos se obtuvo que, a mayor porcentaje de agregado fino plástico, el  $f_c$  del concreto disminuye. Este artículo se consideró como antecedente porque se usó valores en porcentaje para ser ingresado a la red neuronal como vector entrada.

[11] Tavakoli, Hamid Reza evalúa el efecto combinado de partículas de nano-sílice y tres tipos de fibras, la cuales son, acero, polipropileno y vidrio, las propiedades evaluadas en esta investigación es el  $f_c$ , tensión y flexión del concreto autocompactante. Para la cual se diseñaron siete tipos de mezclas, y se añadió a cada un porcentaje de partículas de nano sílice, de 0, 1, 2, 3, 4, 5 y 6 %. El uso conjunto de las fibras mencionadas mejoró el concreto autocompactante en las propiedades mecánicas. Se utilizó una red neuronal de tipo perceptrón para predecir las propiedades mecánicas de los concretos autocompactantes que incorporan las fibras mencionadas a partir de estos datos.

### ***2.1.2. Antecedentes nacionales***

El objetivo, según Gonzales Gaspar [12], es hallar el valor  $f_c$  del concreto utilizando redes neuronales artificiales. Para ello, creó setenta y nueve testigos con dosificaciones diferentes que fueron ensayados durante la cuarta, segunda y primera semana de curado. Los estándares establecidos en la Norma E-060 y la NTP 339.034 se aplicaron a los procesos mencionados anteriormente. Se utilizaron diez variables como vectores de entrada para crear la red neuronal: kilogramos de cemento, litros de agua, kilogramos de agregados finos y gruesos, porcentaje de humedad de los agregados, porcentaje de absorción de los agregados, porcentaje que pasa la malla N°4, TMN de los agregados y días de curación. El único vector de salida fue el  $f_c$  del concreto. Los testigos de concreto se dividieron en tres grupos de muestra, 70% para el entrenamiento, 15% para la etapa de prueba y el otro 15% para la validación, además se usó diversas simulaciones con la metodología de retro propagación y el algoritmo de Lavenberg Marquardt, para la cual se usó el lenguaje de programación Python; Obteniendo un error del 1% en la predicción  $f_c$  del concreto. Se escogió como antecedente ya que cuenta con una cantidad similar de variables en el vector entrada, a lo propuesto en esta investigación y el uso del lenguaje de programación Python para la creación de la red neuronal.

### **2.1.3. Antecedentes locales**

En [13] El objetivo de Sandoval Gil y Bernabé Nuntón es crear una red neuronal artificial con el fin de disminuir el tiempo de la prueba de rotura del concreto en la que se encuentra el  $f_c$  del concreto. De los 294 testigos utilizados en esta investigación, 240 fueron utilizados para el entrenamiento y validación de la red neuronal, y los restantes fueron utilizados para evaluar la red neuronal. Se realizaron cinco dosificaciones para adquirir una base de datos. La RNA se construyó mediante aprendizaje supervisado. El lenguaje de programación Python se utilizó para crear y el algoritmo de propagación inversa se utilizó para el entrenamiento. Los valores de determinación del entrenamiento fueron 0.9241 y los valores de comprobación fueron 0.8192, lo cual indica que la red neuronal en el proceso de entrenamiento fue muy bien, pero en la etapa de comprobación reduce el porcentaje ya que son datos que la red nunca ha visto; El modelo desarrollado consigue predecir con un nivel aceptabilidad coherente el  $f_c$  del concreto. Se escogió como antecedente ya que usaron agregados de una de las canteras de la Región y el mismo lenguaje de programación propuesto en esta investigación.

## **2.2. Bases teoricas**

### **2.2.1. Concreto**

#### *2.2.1.1. Definición*

El concreto se compone de cemento, agregados, agua y a veces aditivos, y es un material esencial para la construcción [1]. Para unir las partículas de estos materiales, la reacción química entre el agua y el cemento es necesaria, mientras que los aditivos se utilizan para mejorar o alterar características particulares del concreto [14]. El  $f'c$  del concreto aumenta gradualmente con el tiempo, alcanzando su máximo del 100% a los 28 días y superando el 110% entre los días 56 y 90 [15].

#### *2.2.1.2. Composición*

Conforme a la Norma E.060 [30], el concreto tradicional se compone de cemento, agregado fino, agregado grueso y agua. Estos elementos pueden ser complementados con aditivos diseñados para ajustar diversas propiedades del concreto, como su manejabilidad, resistencia, durabilidad y permeabilidad, entre otras. En esta investigación, se decidió utilizar exclusivamente concreto convencional, sin la incorporación de aditivos.

#### *2.2.1.3. Elaboración*

A pesar de que actualmente hay mezcladores automáticos que van desde 50 litros hasta plantas de producción modernas, es común observar que en algunos lugares aún se produce el concreto manualmente con palanas, lo cual no es recomendable. En lugar de eso, los agregados se mezclan mediante volteo con palas, pasando de un lado a otro sobre una superficie dura y limpia. Primero se mezclan los agregados y luego se aplica una capa de cemento sobre los agregados para mezclarlo con las palas. Finalmente, se abre un pequeño "cráter" en la mezcla donde se vierte el agua de manera gradual y se mezcla hasta obtener una consistencia uniforme. Mayormente se usan, los famosos "Trompos", que son mezcladores de caída libre, donde se vierten los agregados, el cemento y finalmente el agua.

[1]

### **2.2.2. Cemento**

Tiene propiedades cohesivas y adhesivas, es el tipo de cemento utilizado para crear concreto. El cemento puede provocar reacciones químicas internas al entrar en contacto con el agua que producen una nueva sustancia moldeable, plástica y uniforme [1]. El cemento Portland se fabrica moliendo arcilla calcinada y caliza. Para mantener la mezcla unida, se agrega una pequeña cantidad de yeso mientras se fragua [16].

### **2.2.3. Agua**

El agua es necesaria para humedecer las partículas de cemento y activar sus propiedades aglutinantes [1]. Además, afecta significativamente las propiedades del concreto, como su resistencia y trabajabilidad [14]. Para que el concreto sea adecuado para la elaboración, el agua debe cumplir con las normas establecidas en la N.T.P.339.88.2014. Sin embargo, cualquier fuente de agua natural que no produzca olores ni colores notables se utiliza con frecuencia en la mezcla de concreto [12].

### **2.2.4. Agregados**

Es la mezcla de partículas inorgánicas artificiales o naturales, cuyas dimensiones están establecidas en la N.T.P.400.1-2008, así como en la N.T.P.400.037-2014, que establecen las especificaciones estandarizadas para el agregado en el concreto.

Son materiales naturales o artificiales que se combinan con agua y cemento para producir morteros y concretos. También representan aproximadamente el 75.00% del volumen de la mezcla. Siempre se busca que los agregados sean de alta durabilidad y resistencia, ya que estas sustancias como el limo y cualquier elemento orgánico pueden afectar la unión con la pasta de cemento [14].

#### **2.2.4.1. Agregado fino**

La mayoría es arena que se produce como resultado de la desintegración de rocas, ya sea natural o artificial. Debe pasar por un tamiz normal de 9,5 mm o 3/8" y debe cumplir con los estándares mínimos de la NTP 400.037. Debe estar compuesto por granos sin partículas escamosas, terrones, polvo y materia orgánica, y preferiblemente angulares [18]. El MF del agregado fino recomendado estará entre 2,3 y 3,1, con una variación máxima de  $\pm 0,2$  [21].

### 2.2.4.2. Agregado grueso

Es el agregado que queda retenido en la malla número 4 [20], que consiste en partículas de grava natural o triturada, roca partida, concreto reciclado y triturado, o una combinación de estos [18].

Además, debe estar formado por fragmentos de perfil semiangular o angular, limpios, duros y compactos; De superficie rugosa y libre de material orgánico, polvo, tierra, limo, escamoso, humus, sales u otras sustancias [18].

El M.F del agregado grueso debe estar en un límite de 7,3 – 8,9 [21].

El TMN no deberá ser mayor que [23]:

- 1/5 de la menor distancia entre las caras del encofrado.
- 1/3 de la altura de la losa.
- 3/4 del espacio sobrante entre alambre o barras de refuerzo individuales [23].

### 2.2.5. Análisis granulométrico

Es la distribución de los granos de arena por dimensión. Los tamices estandarizados utilizados están disminuyendo en apertura, pasando de los números 4,8,16,30,50,100 [14]. En dos tamices consecutivos, el agregado fino no debe retenerse en más del 45%. La granulometría debe cumplir con los límites de NTP.400.37 [19].

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

Tabla 1 - Granulometría del agregado fino Fuente: NTP 400.37-2014

Beso	Tamaño máximo nominal	Porcentaje que pasa por los tamices normalizados													
		100 mm (4 pulg)	90 mm (3 5/8 pulg)	75 mm (3 pulg)	60 mm (2 3/8 pulg)	50 mm (2 pulg)	37,5 mm (1 1/2 pulg)	25,0 mm (1 pulg)	19,0 mm (3/4 pulg)	12,5 mm (1/2 pulg)	9,5 mm (3/8 pulg)	4,75 mm (No. 4)	2,36 mm (No. 8)	1,18 mm (No. 16)	600 µm (No. 30)
1	90 mm a 17,5 mm (3 5/8 pulg a 5/8 pulg)	100	90 a 100	—	25 a 60	—	0 a 11	—	0 a 5	—	—	—	—	—	—
2	80 mm a 5,0 mm (3 pulg a 1/2 pulg)	—	—	100	90 a 100	35 a 70	0 a 11	—	0 a 5	—	—	—	—	—	—
3	50 mm a 2,0 mm (2 pulg a 1/8 pulg)	—	—	—	100	80 a 100	35 a 70	0 a 11	0 a 5	—	—	—	—	—	—
337	50 mm a 4,75 mm (2 pulg a No. 4)	—	—	—	100	85 a 100	—	35 a 70	—	10 a 30	—	0 a 5	—	—	—
4	37,5 mm a 1,18 mm (1 1/2 pulg a 1/16 pulg)	—	—	—	—	100	80 a 100	20 a 35	0 a 5	—	—	—	—	—	—
447	37,5 mm a 4,75 mm (1 1/2 pulg a No. 4)	—	—	—	—	100	95 a 100	35 a 70	—	10 a 30	0 a 5	—	—	—	—
5	25,0 mm a 2,0 mm (1 pulg a 1/8 pulg)	—	—	—	—	100	80 a 100	20 a 35	0 a 11	0 a 5	—	—	—	—	—
16	25,0 mm a 0,5 mm (1 pulg a 1/16 pulg)	—	—	—	—	100	80 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 11	0 a 5	—	—	—	—
17	25,0 mm a 4,75 mm (1 pulg a No. 4)	—	—	—	—	100	85 a 100	—	25 a 60	—	0 a 30	0 a 5	—	—	—
8	19,0 mm a 0,5 mm (3/4 pulg a 1/16 pulg)	—	—	—	—	—	100	80 a 100	20 a 35	0 a 11	0 a 5	—	—	—	—
07	19,0 mm a 4 mm (3/4 pulg a No. 4)	—	—	—	—	—	100	80 a 100	—	20 a 35	0 a 30	0 a 5	—	—	—
7	12,5 mm a 4,75 mm (1/2 pulg a No. 4)	—	—	—	—	—	100	90 a 100	40 a 70	0 a 11	0 a 5	—	—	—	—
8	9,5 mm a 2,0 mm (3/8 pulg a No. 8)	—	—	—	—	—	—	—	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	—	—
89	12,5 mm a 0,5 mm (1/2 pulg a 1/16 pulg)	—	—	—	—	—	—	—	100	80 a 100	20 a 35	5 a 30	0 a 10	0 a 5	—
94	4,75 mm a 1,18 mm (No. 4 a No. 16)	—	—	—	—	—	—	—	—	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5	—

NOTA: Se permitirá el uso de agregados que no cumplan con las gradaciones especificadas, siempre y cuando existan estudios calificados a satisfacción de las partes, que aseguren que el material probado es concreto de la calidad requerida.

Tabla 2 Requisitos mínimo del agregado grueso - Fuente: NTP 400.037-2014

El propósito de esta evaluación es determinar la clasificación del agregado, la cual debe cumplir con las restricciones establecidas en la norma técnica peruana. Según la NTP.012-2013, la cantidad mínima requerida para la prueba mencionada anteriormente es de 0.30 kg.

#### **2.2.6. Módulo de fineza**

Se obtiene sumando los porcentajes retenidos acumulados de la muestra del agregado, de cada tamiz se la serie (N° 100, 50, 30, 16, 8, 4) y dividido entre 100.

El M.F del agregado fino recomendado estará dentro del rango de 2.3 – 3.1, puede haber una variación máxima de  $\pm 0.2$  [21]. En el caso que el agregado sobrepase el máximo permitido, esta podría llegar a ser rechazado por la supervisión a menos que se realice algunos ajustes en el diseño de mezcla para obtener unas proporciones de mezcla que equilibren la alteración de los granos [20].

#### **2.2.7. Peso unitario (PU)**

Es el peso por unidad de volumen, siendo este aparente [20].

**PU. Suelto** : Es el peso del material que es necesario para completar el recipiente sin ninguna presión.

**PU. Compactado** : Es el peso del material que es necesario para completar el recipiente la cual fue compactado en tres oportunidades por una varilla estándar.

#### **2.2.8. Peso específico**

Llamado también densidad relativa, la cual relaciona la masa en un volumen de un material, a la masa de igual volumen de agua [20].

#### **2.2.9. Contenido de humedad**

Cantidad de agua que hay dentro del material expresado en porcentaje, en este caso del agregado [20].

#### **2.2.10. Absorción**

Es la cantidad de humedad expresada en porcentaje que tiene el agregado cuando se encuentra en un estado saturado, y la superficie se encuentra seca [20].

### **2.2.11. Propiedades mecánicas de los agregados**

#### *2.2.11.1. Resistencia*

Depende de su estructura, textura y composición, la norma británica describe un método por el cual podemos obtener el  $f'_c$  de los agregados, para lo cual se hace uso de cilindros de 1" o 2.54cm de diámetro y altura [24].

#### *2.2.11.2. Tenacidad*

Es una característica altamente ligada con la resistencia al deterioro ambiental, y está relacionada con la textura, flexión y angularidad [24].

#### *2.2.11.3. Dureza*

Es la capacidad de resistir a la abrasión, erosión o al desgaste en general, las rocas que se van a emplear deben ser resistentes a los procesos antes mencionados para la elaboración del concreto [24].

#### *2.2.11.4. Módulo de elasticidad*

Considerado como la capacidad de un material para resistir las deformaciones. Es comprensible suponer que los agregados experimentan deformaciones elásticas, ya que se sabe que el concreto puede sufrir deformaciones [24].

### **2.2.12. Propiedades químicas de los agregados**

#### *2.2.12.1. Reacción álcali – sílice*

El álcali que está presente en el cemento, la cual está formado por el óxido de potasio y sodio, que en ciertas condiciones de humedad y temperatura reaccionan con algunos minerales, y esto produce un gel expansivo [24].

#### *2.2.12.2. Reacción álcali – carbonatos*

Producida por una reacción de los carbonatos que están involucrados en los diferentes agregados, y llegando a generar sustancias expansivas [24].

## **2.3. Propiedades del concreto**

### ***2.3.1. Resistencia a la compresión del concreto***

Es la capacidad del concreto para soportar un esfuerzo, que viene dada por una carga en una determinada área y puede ser expresada en kg/cm<sup>2</sup>, MPa o psi, depende del sistema de medición. Es la medida más común para medir la capacidad del concreto, además se utiliza como un indicador de calidad del concreto. Para saber la resistencia se toman muestras cuando se realiza el mezclado y se elabora especímenes que se le conoce como testigos, luego serán curada y se someterán a ensayos de compresión [14].

### ***2.3.2. Trabajabilidad***

Se define como facilidad de poder ser mezclado, acomodado y compactado un concreto en su condición fresca. Por el momento no hay un ensayo definido para que cuantifique la trabajabilidad [14].

### ***2.3.3. Consistencia***

Está ligada con el nivel de hidratación que existe en la mezcla, y se ve influenciada por la cantidad de agua que se usó [14].

### ***2.3.4. Segregación***

Es un fenómeno que hace al agregado grueso separarse del mortero, este fenómeno desfavorece el vaciado de los elementos estructurales, lo que causa las famosas cangrejeras o algunas capas arenosas, etc. Este problema se puede contrarrestar aumentando cemento agregado fino en el proceso del diseño de mezcla [14].

### ***2.3.5. Exudación***

Sucede cuando los sólidos llegan a sedimentarse, lo que produce que una parte importante del agua que se encuentra en la mezcla comience a ascender hacia la superficie [14]. Suele suceder por un uso excesivo de agua en la mezcla, mala dosificación de cemento o aditivo o por la elevada temperatura de la zona [14].

### **2.3.6. Durabilidad**

La capacidad del concreto para resistir la intemperie, el desgaste y la exposición a químicos. La mayoría de los daños son provocados por los períodos de congelación y descongelación, lo que provoca grietas en el concreto. Para reducir este fenómeno, se utilizan aditivos para agregar aire en una cantidad del 2 % al 6 % [14].

### **2.3.7. Impermeabilidad**

Es una característica esencial del concreto: cuando hay exceso de agua en la mezcla, se forman vacíos que aumentan la permeabilidad, lo que no es necesario en elementos estructurales [14].

## **2.4. Redes neuronales artificiales (RNA)**

### **2.4.1. Red neuronal**

Fueron creadas para imitar o copiar el comportamiento del sistema nervioso humano, y está formada por neuronas y nodos; Siendo las neuronas la unidad primaria. La primera red neuronal propuesta fue por McCulloch y Pittis en el año 1943 [25].

Las redes neuronales artificiales copian las funciones cerebrales, por ejemplo, son capaces de memorizar y asociar hechos [26]. Matemáticamente se puede analizar como aproximaciones no lineales [4]. La RNA más sencilla cuenta con una capa de entrada, oculta y de salida [31].

### **2.4.2. Funcionamiento**

Al contar con múltiples neuronas artificiales trabajando en paralelo, estas redes son capaces de identificar interacciones complejas, incluso no lineales, entre diferentes variables. Su funcionamiento implica la recepción de información en la capa de entrada, mientras que las capas ocultas generan relaciones interconectadas entre la información de entrada y la salida. La capa de salida es la responsable de proporcionar los resultados de las predicciones [31].

### **2.4.3. Redes neuronales tipo mlp**

Las redes neuronales artificiales pueden aprender o aproximar cualquier función a partir de muestras de datos dadas en el proceso de entrenamiento. La característica más importante

de la red neuronal es su capacidad de aprender relaciones complicadas basadas en datos. El tipo de red Perceptrón Multicapa (MultiLayer Perceptron - MLP) consta de un vector entrada, una o muchas capas ocultas y una capa de salida denominado vector salida [27].

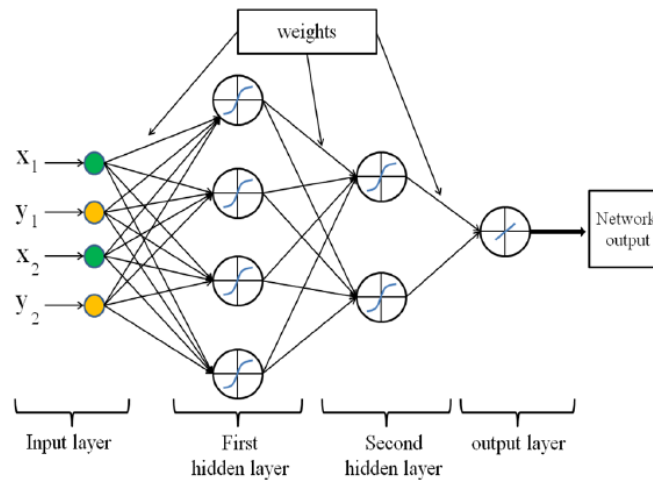


Ilustración 1 Estructura de una red de tipo MLP - Fuente: H.R. Tavakoli

#### 2.4.4. Algoritmo de propagación inversa

Fue propuesta por primera vez por Werbos en 1974, que se basa en la búsqueda de una superficie de error, teniendo como función los pesos de RNA, utilizando el algoritmo de descenso de gradiente.

Tomando como ejemplo la ilustración 1, cuando un conjunto de datos de entrada (vector de entrada) se propaga por la red, pasando por las capas ocultas hasta llegar a una salida, que es el vector salida. Este algoritmo es de aprendizaje supervisado donde los pesos se ajustan para minimizar el error absoluto que hay entre el valor estimado y el valor real o deseado [27].

#### 2.4.5. Aprendizaje no supervisado

En este aprendizaje la red neuronal no recibe datos etiquetados o las respuestas para guiar el proceso de aprendizaje, el algoritmo debe analizar el conjunto de datos y encontrar patrones o características útiles que se conecten entre ellos [26].

#### 2.4.6. Aprendizaje supervisado

En este aprendizaje se trabaja con un conjunto de datos etiquetados además se le brinda las características que están asociados a cada etiqueta, el objetivo es crear un modelo capaz de realizar predicciones precisas sobre nuevos datos que no se encuentran en los datos de entrenamiento [26].

## 2.5. Tensorflow

Es una interfaz y una implementación que expresa algoritmos de aprendizaje automático que es capaz de ejecutarse en sistemas heterogéneos. Es flexible y se puede utilizar para una amplia variedad de algoritmos. Se viene usando en muchas áreas como procesamiento de lenguaje natural, robótica, reconocimiento de voz, predicciones, visión por computadora etc. Fue lanzado como un paquete de código abierto en noviembre del 2015 [32].

### 2.5.1. Optimizadores

Algoritmos usados para ajustar los pesos o sesgos (bias) con el fin de minimizar la función de pérdida durante el proceso de entrenamiento [32].

#### 2.5.1.1. Adam

Es un algoritmo de optimización que está basada principalmente en gradientes de primer orden de funciones objetivo-estocásticas, el método es apropiado para objetivos no estacionarios [33].

#### 2.5.1.2. Adamax

Es una variante del optimizador Adam, está basado en gradiente de primer orden, la diferencia con Adam es que está basado en la norma del infinito, esto no indica que considera la magnitud máxima de valores de los gradientes [33].

#### 2.5.1.3. RMSprop

Algoritmo de optimización utiliza el momentum simple, que tiene como fin ajustar la tasa de aprendizaje de una manera adaptativa, manteniendo una media móvil de los cuadrados de los gradientes anteriores [34].

#### 2.5.1.4. Nadam

Este algoritmo es la incorporación del momentum de Nesterov a Adam, la inclusión de este momentum ayuda a evitar oscilaciones y a acelerar la convergencia [35].

## 2.5.2. Funciones de activación

Utilizadas en cada neurona de una red neuronal para introducir no linealidad en el modelo. Al introducir no linealidad, las funciones de activación permiten a la red neuronal aprender y representar relaciones y patrones complejos en los datos.

### 2.5.2.1. Sigmoide (Sigmoid)

Transforma los valores introducidos en el rango de 0 a 1, los valores bajos tienden de manera asintótica a 0.

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

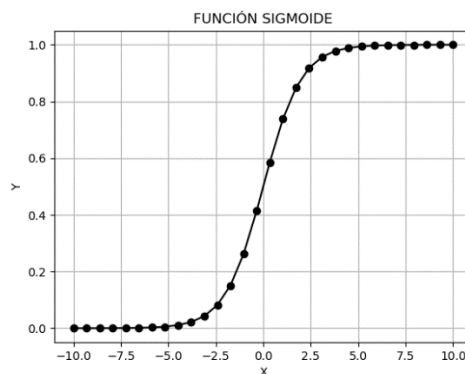


Ilustración 2 función sigmoide Fuente: Elaboración propia

### 2.5.2.2. Tangente hiperbólica (Tanh)

Es una función continua, impar y biyectiva; Los límites evaluados en más y menos infinito dan como resultado 1 y -1.

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

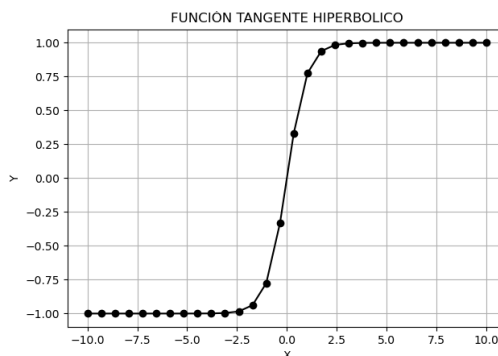


Ilustración 3 función tangente hiperbólico Fuente: Elaboración propia

### 2.5.2.3. Rectified Linear Unit (Relu)

Función de activación no lineal que se usa mayormente en redes neuronales artificiales, establece todos los valores negativos en 0, y los positivos en su mismo valor.

$$f(x) = \max(0, x)$$

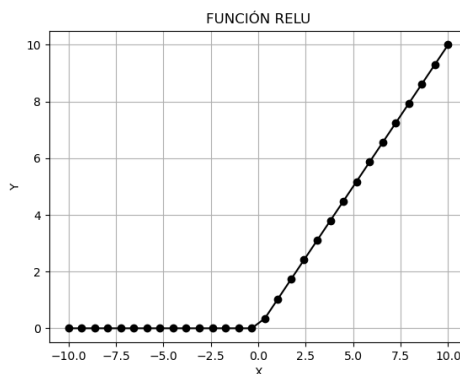


Ilustración 4 función relu Fuente: Elaboración propia

## 2.5.3. Funciones de perdida

### 2.5.3.1. Binary Cross Entropy Loss

Usada en la clasificación binaria, la salida deseada es dada en 0 y 1

Positive Class,  $Y=1$

$$Loss = -\log(Y_{pred})$$

Negative Class  $Y=0$

$$Loss = -\log(1 - Y_{pred})$$

### 2.5.3.2. Categorical Cross Entropy Loss

Utilizada en problemas de clasificación multiclase.

$$Loss = - \sum_{i=1}^N Y_{truei} * \log(Y_{predi})$$

### 2.5.3.3. Sparse Categorical Cross Entropy Loss

Es parecida a la mencionada anteriormente, pero se usa cuando las etiquetas son enteros, en vez de vectores one-hot

#### 2.5.3.4. Mean Squared Error Loss

Función utilizada en problemas de regresión, donde se busca reducir la diferencia cuadrática entre el valor predicho por la red, con el valor real.

$$Loss = \frac{1}{n} * \sum_{i=0}^n (Y_i - Y_{pred i})^2$$

## 2.6. Neuronas

Es la unidad básica de procesamiento que se encuentra en una red neuronal, dicha neurona tiene conexión de entrada, por la cual recibe los estímulos externos.

## 2.7. Ensayo de materiales

### 2.7.1. Granulometría

#### **Normativa:**

N.T.P. 400.012:2013 [36]

#### **Descripción:**

La granulometría afecta directamente la resistencia y la trabajabilidad, por lo que se utiliza para determinar la distribución de tamaños de partículas de los agregados mediante tamizado [36].

#### **Procedimiento:**

La muestra debe secarse a 110 °C ( $\pm 5$  °C), ordenar los tamices en orden de apertura decreciente y colocar la muestra en el tamiz superior. Finalmente, agitar manualmente los tamices hasta cumplir con los requisitos [36].

#### **Cálculo:**

Para determinar el porcentaje de paso, se calcula la relación entre la masa que pasa a través del tamiz y la masa total de la muestra y se multiplica por 100.

Es posible calcular la masa acumulada sumando la masa acumulada que ya ha pasado por los tamices anteriores a este.

Para calcular el porcentaje acumulado, se calcula la relación entre la masa total de la muestra y la masa acumulada que pasa por ese tamiz.

El módulo de fineza del agregado se puede calcular dividiendo la suma de los porcentajes acumulados del material entre 100. Las mallas utilizadas serán las

siguientes: 100, 50, 30, 16, 8, 4, 3/8, 3/4, 1 1/2, 3; aumentado en relación 2:1 [36].

- Para determinar el M.F del agregado fino:

$$M.F = \frac{\sum \%Ret. Acum. en mallas(3/8", \#4, \#8, \#16, \#30, \#50, \#100)}{100}$$

- Para determinar el M.F del agregado grueso:

$$M.F = \frac{\sum \%Ret. Acum. en mallas(3", 1 1/2", 3/4", 3/8", \#4) + 500}{100}$$

La adición de 500 en la formula anterior, es referente al 100% que pasa desde el tamiz N°8 hasta el tamiz N°100

### **2.7.2. Peso específico y absorción del agregado fino**

#### **Normativa:**

N.T.P. 400.022:2013 [37]

#### **Descripción:**

Para determinar el volumen de un agregado en una variedad de mezclas, se utiliza con frecuencia el peso específico. Sin embargo, el porcentaje de absorción del agregado fino indica la cantidad de agua necesaria para que el agregado pase de una condición seca a una condición superficialmente saturada [37].

#### **Procedimiento:**

El procedimiento comienza sumergiendo una muestra de agregado fino en agua durante alrededor de 24 horas con una tolerancia de plus o menos cuatro horas. Luego, la muestra se extrae y cuidadosamente se seca para obtener su masa inicial. A continuación, la muestra se coloca en un recipiente graduado y se utiliza un método gravimétrico o volumétrico para determinar su volumen. La muestra se seca finalmente en un horno y se registra su masa final [37].

#### **Cálculo:**

A = Masa de la muestra seca al horno (g)

B = Masa del picnómetro llenado de agua hasta la marca de calibración (g)

C = Masa del picómetro lleno de la muestra y el agua hasta la marca de calibración (g)

S = Masa de la muestra de saturado superficialmente seco (g)

$$\text{Peso específico (Gravedad específica } \left[ \frac{g}{cm^3} \right]) = \frac{A}{B + S - C}$$

$$\text{Peso específico (Saturado superficialmente seco } \left[ \frac{g}{cm^3} \right]) = \frac{S}{B + S - C}$$

$$\text{Peso relativo aparente (Gravedad específica aparente } \left[ \frac{g}{cm^3} \right]) = \frac{A}{B + A - C}$$

$$\text{Absorción del agregado fino } [\%] = \frac{S - A}{A} \times 100$$

### 2.7.3. *Peso específico y absorción del agregado grueso*

#### **Normativa:**

N.T.P. 400.021:2002 [38]

#### **Descripción:**

El porcentaje de absorción del agregado grueso se utiliza en el proceso de determinación del peso específico, lo que determina la cantidad de agua necesaria para pasar de una condición seca a una condición superficialmente saturada [38]. Este método se usa con frecuencia para calcular el volumen de agregado que se encuentra en diferentes mezclas.

#### **Procedimiento:**

Comenzando con un día de tolerancia, una muestra de agregado grueso se sumerge en agua. Se extrae la muestra y luego se seca minuciosamente para que su masa seque. Se pesa la muestra en agua. La muestra se seca finalmente en un horno para determinar su masa final [38]. Es importante tener en cuenta que el peso mínimo necesario para realizar este ensayo depende del tamaño máximo nominal (TMN) del agregado grueso. Los TMN de 1/2", 3/4" y 1" son respectivamente 2 kg y 4 kg [38].

#### **Cálculo:**

A = Masa de la muestra seca en horno(g)

B = Masa de la muestra saturada superficialmente seca en el aire (g)

C = Masa en el agua de la muestra saturada (g)

$$\text{Peso específico (Gravedad específica } \left[ \frac{g}{cm^3} \right]) = \frac{A}{B - C}$$

$$\text{Peso específico (Saturado superficialmente seco)} \left[ \frac{g}{cm^3} \right] = \frac{B}{B - C}$$

$$\text{Peso relativo aparente (Gravedad específica aparente)} \left[ \frac{g}{cm^3} \right] = \frac{A}{A - C}$$

$$\text{Absorción del agregado grueso [\%]} = \frac{B - A}{A} \times 100$$

#### 2.7.4. Humedad

##### **Normativa:**

N.T.P. 339.185:2013 [39]

##### **Descripción:**

Usado para determinar el porcentaje total de humedad evaporable en los agregados finos y gruesos mediante secado [39].

##### **Procedimiento:**

Pesar la muestra seleccionada, posteriormente secar la muestra a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C. Finalmente, pesar la muestra seca en horno [39].

##### **Cálculo:**

W = Masa de la muestra original (g)

D = Masa de la muestra seca (g)

$$\text{Humedad [\%]} = \frac{W - D}{D} \times 100$$

#### 2.7.5. Peso unitario y vacíos en los agregados

##### **Normatividad:**

N.T.P. 400.017:2011

##### **Descripción:**

Usado para determinar el peso unitario suelto (PUS) y compactado (PUC) de la muestra en estudio [40].

##### **Procedimiento:**

Para calcular el peso seco suelto, llene el recipiente hasta el reboce con un cucharón. Tenga en cuenta que la descarga del agregado no debe estar más allá de 5 cm del borde superior del vaso. Finalmente, nivele la superficie con los dedos o una espátula.

Para determinar el peso seco compactado, se debe tener en cuenta que proceso se va a realizar, dicho proceso depende del tamaño máximo (TM), si el TM es

menor o igual a 37.5mm se usara el proceso de compactación por apisonado, y para superiores a 37.5mm y menores a 125mm se usara el proceso de percusión.

Para el procedimiento por apisonado, en primer lugar, se llena el recipiente hasta la tercera parte, luego se apisona con 25 golpes, posteriormente llenar los dos tercios del total y realizar el apisonado, siguiendo el paso anterior.

Finalmente, llenar el recipiente, apisonar y nivelar. [40].

**Cálculo:**

A = Peso de la muestra sin compactar (g)

B = Volumen del molde ( $cm^3$ )

C = Peso de la muestra compactado (g)

$$PUS \left[ \frac{g}{cm^3} \right] = \frac{A}{B}$$

$$PUC \left[ \frac{g}{cm^3} \right] = \frac{C}{B}$$

**2.7.6. Determinación del  $f'c$  del concreto**

**Normatividad:**

N.T.P. 339.034:2015

**Descripción:**

Usado para determinar el  $f'c$  del concreto en especímenes cilíndricos y muestra de diamantina, solo para concretos superiores a una masa unitaria de 800  $kg/cm^3$  [41].

**Procedimiento:**

Antes de colocar el espécimen en la máquina de ensayo, se deben colocar almohadillas de neopreno. Luego, aplicar una compresión axial a las muestras de diamantina o cilindros moldeados a una velocidad especificada hasta que se produzca la falla [41].

**Cálculo:**

A = Fuerza axial máxima aplicada en el ensayo (KN)

B = Área transversal del espécimen ( $mm^2$ )

$$f'c [MPa] = \frac{A}{B}$$

### 3. Materiales y métodos

#### 3.1. Tipo y nivel de investigación

##### 3.1.1. Tipo de investigación

Esta investigación es de tipo experimental, debido a que se manipula la variable independiente de manera intencional [28], y observando el efecto del manejo sobre la variable dependiente. Además, es de tipo aplicada, ya que propone solucionar una problemática introduciendo una propuesta de solución [29]. Por último, de acuerdo con los datos que se va a analizar, pertenece a una investigación cuantitativa, debido a que los resultados cuantificables tendrán relación con el  $f'c$  del concreto.

##### 3.1.2. Nivel de investigación

Esta investigación tiene un nivel explicativo porque analiza cómo ocurre un fenómeno [28]. Además, intenta descubrir cómo se relacionan dos o más variables [28]. El objetivo es evaluar el impacto de los componentes de concreto en el factor de condición de condición.

#### 3.2. Diseño de investigación

El propósito de este diseño de investigación experimental es analizar los efectos de la variable independiente manipulando deliberadamente sus componentes.

$$M \leftarrow O . MD$$

M es la muestra de estudio, O viene a ser la información recogida en los laboratorios y finalmente MD es el diseño de la red neuronal.

#### 3.3. Diagrama de flujo del desarrollo de la investigación

En siguiente diagrama de flujo muestra las etapas que seguirá el investigador con la finalidad de verificar la hipótesis

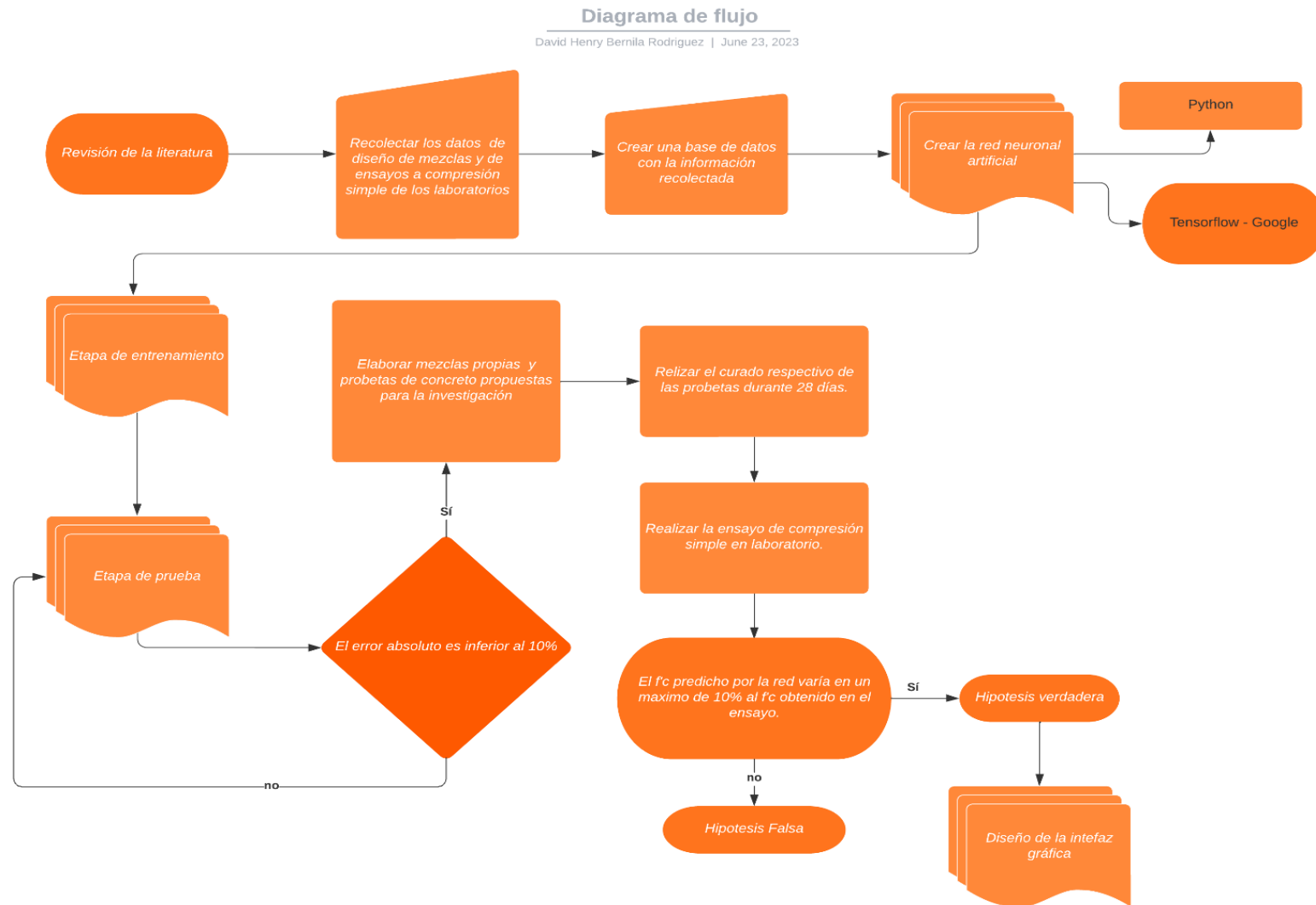


Ilustración 5 Diagrama de flujo

### **3.4. Población, muestra y muestreo**

#### **3.4.1. Población**

El estudio examina los resultados de los ensayos de compresión simple realizados en probetas de varios laboratorios en Perú, así como los datos de diseño de mezclas utilizados para elaborar el concreto.

El objetivo de esta inclusión de una población diversa es obtener una muestra representativa que refleje la diversidad en los materiales y condiciones utilizados a nivel nacional para construir estructuras de concreto. Al analizar tanto los datos de diseño de mezcla como los resultados de los ensayos de compresión, se busca establecer correlaciones entre los parámetros de diseño y el  $f_c$  del concreto.

La selección de laboratorios ubicados en diferentes regiones de Perú permite la inclusión de datos provenientes de diferentes lugares y condiciones ambientales, lo que mejora la comprensión de la influencia de factores regionales en la resistencia del concreto. Además, considerar el origen de los agregados utilizados en el concreto proporciona información útil sobre su procedencia y características, elementos cruciales para analizar los resultados obtenidos.

#### **3.4.2. Muestra**

Se compone de dos conjuntos de muestras diferentes que se utilizaron en el estudio. La muestra inicial de capacitación incluye información sobre el diseño de mezcla utilizado para fabricar el concreto, así como los resultados de las pruebas de compresión simple o uniaxial realizadas en probetas de laboratorio en el norte del Perú. Estos datos se utilizarán para entrenar, probar y validar la red neuronal.

El segundo conjunto, denominado "Muestra de control", consiste en probetas de concreto que se crearán a partir de tres diseños de mezcla siguiendo el método ACI. En este conjunto, se variará el tamaño máximo nominal (TMN), generando un total de 24 probetas de concreto. El propósito de este conjunto de muestras es evaluar y comprobar el funcionamiento de la red neuronal en condiciones controladas.

Al utilizar estos dos conjuntos de muestras, se busca abarcar un rango amplio de condiciones y escenarios para evaluar la capacidad predictiva de la red neuronal. La "Muestra de entrenamiento" permite entrenar y ajustar los parámetros de la red neuronal utilizando datos reales y representativos. Por otro lado, la "Muestra de control" proporciona

un conjunto de datos independiente para evaluar la capacidad de generalización de la red neuronal en situaciones nuevas.

El uso de ambos conjuntos de muestras garantiza un enfoque integral en la validación de la red neuronal y brinda una mayor confianza en los resultados obtenidos. Esto permitirá establecer conclusiones más sólidas sobre la capacidad de la red neuronal para predecir el  $f'c$  del concreto y su aplicabilidad en diferentes escenarios de diseño y materiales utilizados en la construcción.

MUESTRAS DE CONTROL				
AGREGADOS DE LA CANTERA TRES TOMAS	TMN	TIPO DE CEMENTO		PROBETAS
Diseño de mezcla para un $f'c$ de 175 kg/cm <sup>2</sup>	1/2"	I	MS	2
	3/4"	I	MS	2
Diseño de mezcla para un $f'c$ de 210 kg/cm <sup>2</sup>	1/2"	I	MS	2
	3/4"	I	MS	2
Diseño de mezcla para un $f'c$ de 245 kg/cm <sup>2</sup>	1/2"	I	MS	2
	3/4"	I	MS	2
TOTAL				12

AGREGADOS DE LA CANTERA PACHERREZ	TMN	TIPO DE CEMENTO		PROBETAS
Diseño de mezcla para un $f'c$ de 175 kg/cm <sup>2</sup>	1/2"	I	MS	2
	3/4"	I	MS	2
Diseño de mezcla para un $f'c$ de 210 kg/cm <sup>2</sup>	1/2"	I	MS	2
	3/4"	I	MS	2
Diseño de mezcla para un $f'c$ de 245 kg/cm <sup>2</sup>	1/2"	I	MS	2
	3/4"	I	MS	2
TOTAL				12

Tabla 1 Muestras de control

### 3.4.3. Muestreo

Probetas de concreto de diferentes resistencias a la compresión.

## 3.5. Variables en indicadores

### 3.5.1. Variables independientes

Red neuronal artificial

#### Dimensión

Componente cemento

#### Indicadores

- X0: Cantidad de cemento en kg
- X1: Tipo de cemento
- X2: Peso específico del cemento

#### Dimensión

Componente agua

#### Indicadores

- X0: Cantidad de agua en lt

**Dimensión**

Agregados

**Indicadores**

- X0: M. F del agregado fino
- X1: M. F del agregado grueso
- X2: P. E del agregado fino
- X3: P. E del agregado grueso
- X4: TMN
- X5: %ABS del agregado fino
- X6: %ABS del agregado grueso
- X7: %W del agregado grueso
- X8: %W del agregado fino
- X9: Cantidad de agregado fino en kg
- X10: Cantidad de agregado grueso en kg

**3.5.2. Variables dependientes**Resistencia a la compresión del concreto  $f^c$  en  $\text{kg/cm}^2$ **3.5.3. Variables intervinientes****Tipo de cemento**

- I, MS

**TMN**

- 1/2", 3/4"

**Días de curado**

- 28 días

**Resistencias del concreto**

- 175  $\text{kg/cm}^2$ , 210  $\text{kg/cm}^2$ , 245  $\text{kg/cm}^2$

**3.6. Técnicas e instrumento de recolección de datos**

En esta investigación se utilizará una metodología cuantitativa, ya que se recopilarán datos de varios diseños de mezcla y rotura de testigos de concreto en varios laboratorios del norte del Perú, por otra parte, es de observación directa, ya que observaremos y apuntaremos los valores de carga máxima que soporta nuestras probetas de concreto para comprobar que

la red neuronal esté funcionando de la manera apropiada, es decir, teniendo un error absoluto en la predicción en 10% del  $f'c$  real. Para dichas probetas se usarán diferentes tamaños máximos nominales, tres tipos de cemento y tres resistencias a la compresión, la cual se detalla en la Tabla N°03.

La investigación utilizará una ficha llamada "Datos de diseño de mezcla –  $f'c$  real" y otra ficha que registrará los resultados de los ensayos de compresión simple de las probetas realizados para verificar el funcionamiento de la red neuronal.

### 3.7. Tabla de operacionalización de variables

VARIABLES		DIMENSIÓN	INDICADOR	UNID. DE MEDIDA	MÉTODO DE MEDICIÓN
TIPO	DESCRIPCIÓN				
VARIABLE INDEPENDIENTE	Red neuronal artificial	Componente Cemento	Cantidad de Cemento	Kg	Balanza
			Tipo de cemento	-	Según la especificación del fabricante
			PE cemento	Kg/m <sup>3</sup>	Según la especificación del fabricante
		Agua	Cantidad de Agua	Kg	-
		Agregados	MF af	Adimensional	N.T.P.400.013 2013
			MF ag	Adimensional	N.T.P.400.013 2013
			PE af	Kg/m <sup>3</sup>	NTP 400-022 2013
			PE ag	Kg/m <sup>3</sup>	NTP 400-021 2013
			TMN	Pulg	N.T.P.400.011
			Absorción AG	%	NTP 400-021 2013
			Absorción AF	%	NTP 400-022 2013
			W AG	%	N.T.P.339.185, 2013
			W AF	%	N.T.P.339.185, 2013
			Cantidad de AF	Kg	-
Cantidad de AG	Kg	-			
VARIABLE DEPENDIENTE	Resistencia del concreto	-	Resistencia a la compresión	kg/cm <sup>2</sup>	ASTM C39 / N.T.P.339.034
VARIABLE INTERVINIENTE	$f'c$	175kg/cm <sup>2</sup> - 210kg/cm <sup>2</sup> - 245kg/cm <sup>2</sup>			
	TMN	1/2" - 3/4"			
	Tipo de cemento	I - Ms			
	Tiempo de curado	28 Días			

Tabla 2 : Tabla de operacionalización de variables

### 3.8. Procedimientos

Este estudio se basa en una serie de etapas fundamentales para alcanzar sus objetivos. En primera instancia, se procedió a la recopilación de datos en laboratorios del norte de Perú, específicamente en las regiones de Lambayeque y Piura, donde se obtuvieron datos relacionados con el diseño de mezcla y los valores del  $f'c$  mediante ensayos de compresión simple. Este paso es esencial para proporcionar los datos necesarios requeridos para el análisis y entrenamiento de la red neuronal.

La siguiente fase se enfoca en la creación de la estructura de la red neuronal. Para esta tarea, se hizo uso de la potente biblioteca TensorFlow desarrollada por Google, que ofrece herramientas eficaces para la construcción de redes neuronales. La elección de TensorFlow garantiza la implementación sólida y confiable de la red neuronal.

Tras configurar la estructura de la red, se procedió al proceso de entrenamiento. En esta etapa, se empleó el 90% de los datos recolectados en la etapa inicial. Luego, se realizó una fase de pruebas utilizando el 10% restante de los datos totales. Durante este proceso, se supervisaron y corrigieron posibles errores de la red neuronal, ya que se basa en un método supervisado.

Para la siguiente etapa, se requiere la adquisición de agregados gruesos y finos de las canteras mencionadas en la Tabla N°03. Estos agregados se utilizarán en el diseño de mezclas de concreto para lograr diferentes valores de  $f'c$ . Los agregados seleccionados se sometieron a ensayos según las normas establecidas para garantizar su calidad y cumplir con los estándares.

Se analizaron las propiedades de los agregados seleccionados, como su peso específico, humedad, PUS y PUCS, absorción, TMN y módulo de fineza. Estas características son esenciales para diseñar mezclas adecuadas y comprender su comportamiento.

Posteriormente, se llevaron a cabo los diseños de mezcla siguiendo el método del American Concrete Institute (ACI) y basados en la muestra mencionada en la Tabla N°03. Estos diseños se llevaron a cabo considerando diferentes valores del  $f'c$  requeridos. Las mezclas diseñadas se colocaron en probetas de concreto de dimensiones estándar (4" de diámetro x 8" de altura) y se curaron durante 28 días.

Una vez concluido el proceso de curado, se procedió a la ruptura de las 24 probetas de concreto, lo que permitió obtener los valores reales del  $f'c$  del concreto y utilizarlos como referencia para evaluar la precisión de la red neuronal.

Seguidamente, se realizó la validación de la red neuronal artificial introduciendo los datos del diseño de mezcla en la red y obteniendo un valor predicho del  $f'c$ . Este valor predicho se comparó con el valor obtenido durante la rotura de la probeta. Si el error absoluto de la red neuronal era menor o igual al 10%, se consideró que la hipótesis planteada era válida.

Por último, se desarrolló una interfaz gráfica para la red neuronal, que permitirá realizar predicciones futuras del  $f'c$  del concreto de manera sencilla y práctica.

### 3.9. Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGÍA
<p><b>Problema general</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Variación del <math>f_c</math> obtenido en el ensayo a compresión simple del concreto con respecto al <math>f_c</math> de diseño.</li> </ul> <p><b>Problema específico</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>La contaminación ambiental producida por las probetas de concreto ensayadas para obtener el <math>f_c</math>.</li> </ul>	<p><b>Objetivo general</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Predecir el valor del <math>f_c</math> del concreto usando redes neuronales artificiales entrenada con los datos de diseño de mezcla y su <math>f_c</math> obtenida en laboratorio.</li> </ul> <p><b>Objetivos específicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Crear una red neuronal artificial en Python para predecir el <math>f_c</math> del concreto con un nivel de exactitud mayor al 90% <math>f_c</math>.</li> <li>Determinar la influencia de los tipos de cemento en el <math>f_c</math> del concreto.</li> <li>Determinar la influencia de la relación agua – cemento en el <math>f_c</math> del concreto.</li> <li>Determinar la influencia del peso específico del cemento en el <math>f_c</math> del concreto.</li> <li>Determinar la influencia del módulo de fineza del agregado fino y grueso en el <math>f_c</math> del concreto.</li> <li>Determinar la influencia del peso específico del agregado fino y grueso en el <math>f_c</math> del concreto.</li> <li>Determinar la influencia del TMN del agregado grueso en el <math>f_c</math> del concreto.</li> <li>Determinar la influencia de la absorción del agregado fino y grueso en el <math>f_c</math> del concreto.</li> <li>Determinar la influencia de la cantidad de agregado fino y grueso en el <math>f_c</math> del concreto.</li> <li>Diseñar el entorno grafico para el manejo de los datos.</li> </ul>	<p>Una red neuronal artificial puede ayudar a predecir el <math>f_c</math> del concreto a los 28 días, sin necesidad de llevar a roturas las probetas de concreto en laboratorio.</p>	<p><b>Variable independiente:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Red neuronal artificial</li> </ul> <p><b>Variable dependiente:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Resistencia a la compresión del concreto <math>f_c</math> en <math>kg/cm^2</math></li> </ul> <p><b>Variable interviniente:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Tipo de cemento</li> <li>Días de curado</li> <li>Resistencias del concreto</li> </ul>	<p><b>Tipo de investigación:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Experimental Aplicada</li> </ul> <p><b>Diseño de investigación:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Experimental</li> </ul> <p><b>Nivel de investigación:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Explicativo</li> </ul> <p><b>Población y muestra:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Población:</b> Datos de diseño de mezcla y resultados de ensayos a compresión simple del concreto en diferentes laboratorios del norte del Perú.</li> <li><b>Muestra:</b> 24 probetas de concreto</li> </ul>

Tabla 2 Matriz de consistencia

## 4. Resultados

### 4.1. Recolección de datos

En este paso, se recolectó los datos de diferentes laboratorios con la finalidad de alimentar la red neuronal que será entrenada posteriormente con dichos datos.

#### 4.1.1. Datos de diseño de mezcla y valor del $f'c$ real – UNP

Cantera: Estrella de Belén (piedra chancada 1/2)

Cantera: Saint Thomas (piedra chancada 1/2)

Cantera: Nuevo Belén - Chulucanas (piedra chancada 3/4)

Cantera: Andrés Gabriel (piedra chancada 1/2)

Cantera: Escorpión - (piedra chancada 1/2)

Cantera: Chulucanas (piedra chancada 1/2)

Cantera: Río Hualapampa (piedra chancada 3/4)

Cantera: la lechuga (piedra chancada 3/4)

*Ver anexo 1*

#### 4.1.2. Datos de diseño de mezcla y valor del $f'c$ real – UNPRG

Cantera: Tres Tomas (piedra chancada 3/4)

*Ver anexo 2*

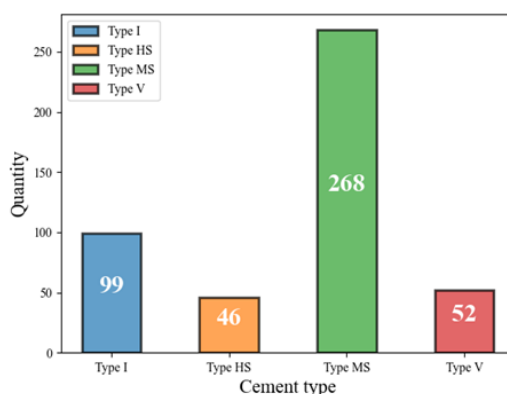
Se recopilaron datos relevantes, datos de diseño de mezcla, características de agregados y  $f'c$  de ensayos de compresión simple durante la etapa de recopilación de datos. Uno de los inconvenientes que se tuvo fue la representación de los tipos de cementos en el conjunto de datos, inicialmente se registraron como texto, cemento tipo I, HS, MS y V; Sin embargo, para que estos datos sean procesados correctamente es necesario convertirlo a un valor numérico.

Para resolver el problema se optó por asignar un valor numérico a cada tipo de cemento.

TIPO DE CEMENTO	VALOR
I	1
HS	2
MS	3
V	4

*Tabla 3 Asignación de un valor numérico a cada tipo de cemento*

De esta manera, se puede representar el tipo de cemento como una variable numérica en el conjunto de datos de entrada de la red neuronal.



*Ilustración 6 Datos recogidos por tipo de cemento.*

El tamaño máximo nominal (TMN) del agregado grueso se presentó en valores decimales con la unidad de medida pulgadas. Los datos recopilados se componen de dos valores de TMN, a saber, 1/2 pulgada y 3/4 pulgada.

TMN (plg)	Valor
1/2	0.5
3/4	0.75

Tabla 4 Tamaño máximo nominal

## 4.2. Programación

Después de obtener los datos, se programó en Visual Studio Code usando el lenguaje de programación Python, cambiando el valor texto a un valor numérico del tipo cementado y el valor TMN a un valor decimal. Se ha creado una solución que utiliza TensorFlow para el entrenamiento y la creación de redes neuronales y MySQL como base de datos para lograr los objetivos establecidos.

Debido a que es ampliamente utilizada en la gestión de datos, la base de datos MySQL es la mejor opción. Se creó una base de datos llamada "tesis" y cinco tablas, como se muestra en 5.2.1. De esta manera, toda la información recopilada se centralizó para poder acceder a los datos necesarios para el entrenamiento de la red neuronal.

En cuanto a la creación de la red neuronal, se utilizó TensorFlow porque ofrece un entorno potente, flexible, una amplia gama de funciones y su eficiencia computacional.

Además, en esta investigación se ha realizado una comparativa de cuatro optimizadores disponibles en TensorFlow. Dichos optimizados ajustan los parámetros de la red neuronal durante el proceso de entrenamiento, la elección correcta de estos ayuda a tener una mejor predicción de los resultados con los datos que contamos. Los optimizados evaluados

incluyen Adam, Adamax, RMSProp y Nadam; El funcionamiento de cada uno se comentó en 3.5.1.

#### 4.2.1. Creación de la base de datos en MySQL usando Python

Se importó `mysql.connector` a nuestro archivo de Python, con la finalidad de conectarnos a MySQL y realizar la creación de las tablas.

Creamos una función llamada `create_base` con la cual nos conectaremos a MySQL, indicando el host, user, password, port y database; Una vez conectados crearemos las tablas en nuestra base de datos llamada `tesis`. Las tablas creadas tendrán como nombre `f_c_real`, `cemento`, `agua`, `agregado fino`, `agregado grueso`, y dentro de cada tabla tendrás sus características que planteamos al inicio.

```

base_conexion.py > ...
1  import mysql.connector
2
3  def create_base():
4      conexion = mysql.connector.connect(
5          host = "localhost",
6          user = "root",
7          password = "henrybr",
8          port = "3306",
9          database = "tesis"
10     )
11
12     cursor = conexion.cursor()
13
14     sql = """CREATE TABLE f_c_real (id INT AUTO_INCREMENT PRIMARY KEY, f_c_kg_cm2 FLOAT)"""
15     sql = """CREATE TABLE slump (id INT AUTO_INCREMENT PRIMARY KEY, slump FLOAT)"""
16     sql = """CREATE TABLE cemento (id INT AUTO_INCREMENT PRIMARY KEY, cantidad FLOAT,
17         tipo FLOAT, peso_especifico FLOAT)"""
18     sql = """CREATE TABLE agua (id INT AUTO_INCREMENT PRIMARY KEY, cantidad FLOAT)"""
19     sql = """CREATE TABLE agregado_fino (id INT AUTO_INCREMENT PRIMARY KEY, cantidad FLOAT,
20         mf FLOAT, peso_especifico FLOAT, peso_seco_suelto FLOAT, peso_seco_compactado FLOAT,
21         humedad FLOAT, absorcion FLOAT)"""
22     sql = """CREATE TABLE agregado_grueso (id INT AUTO_INCREMENT PRIMARY KEY, cantidad FLOAT,
23         mf FLOAT, tmn FLOAT, peso_especifico FLOAT, peso_seco_suelto FLOAT, peso_seco_compactado FLOAT,
24         humedad FLOAT, absorcion FLOAT)"""
25
26     #PARA INGRESAR LOS DATOS
27
28     sql = """INSERT INTO cemento (cantidad, tipo, peso_especifico) VALUES (%s, %s, %s)"""
29
30     cursor.execute(sql)
31     conexion.commit()
32     conexion.close()

```

*Código Python 1 Creación de la base de datos MySQL*

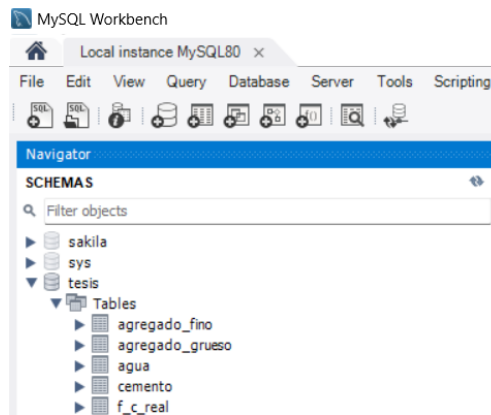


Ilustración 7 Base de datos generada en MySQL

Se creó las tablas en MySQL para importar los datos recogidos de los diseños de mezclas y los  $f_c$  obtenidos, y usar dicha base de datos en Tensorflow para un mejor procesamiento de datos.

#### 4.2.2. Exportar los datos almacenados en Excel a MySQL

Para la recolección de datos se usó Excel debido a su versatilidad, sin embargo, fue excluido del entrenamiento de la red neuronal por su limitada capacidad de procesamiento de datos en comparación de una base de datos como MySQL.

Para exportar los datos de Excel a MySQL se empleó Python, con las librerías Pandas y mysql.connector, estas herramientas nos permiten manejar de manera eficiente la extracción y transferencia de datos.

Primero debemos cargar el archivo Excel que contiene los datos almacenados por el investigador, para ello usamos pandas.

Posteriormente, se crean las funciones para exportar los datos de Excel, las cuales son: `excel_to_mysql_f_c_real`, `excel_to_mysql_agua`, `excel_to_mysql_cemento`, `excel_to_mysql_af`, `excel_to_mysql_ag`; Estas funciones permiten transferir de manera eficiente y precisa los datos desde Excel hacia las tablas correspondiente en la base de datos MySQL.

```

excel_to_mysql.py > ...
1 import pandas as pd
2 import mysql.connector
3 class Conectar:
4     def __init__(self):
5         self.conexion = mysql.connector.connect(
6             host="localhost",
7             user="*****",
8             password="*****",
9             port="*****",
10            database="tesis")
11
12 > def excel_to_mysql_f_c_real():...
24 #excel_to_mysql_f_c_real()
25
26 > def excel_to_mysql_agua():...
40 #excel_to_mysql_agua()
41
42 > def excel_to_mysql_cemento():...
61 #excel_to_mysql_cemento()
62
63 > def excel_to_mysql_af():...
93 #excel_to_mysql_af()
94
95 > def excel_to_mysql_ag():...
126 #excel_to_mysql_ag()

```

### Código Python 2 Esquema de las funciones creadas para exportar datos de Excel a MySQL

```

12 def excel_to_mysql_f_c_real():
13     data = pd.read_excel("Z:\TESIS - PYTHON\DATOS LABORATORIO ORIGINAL.xlsx", sheet_name="export_to_mysql")
14     f_creal = data['fc real'].values
15     conexion = Conectar().conexion
16     cursor = conexion.cursor()
17     for i in f_creal:
18         sql = """INSERT INTO cemento (f_c_kg_cm2) VALUES (%s)"""
19         value = tuple([i])
20         cursor.execute(sql, value)
21         conexion.commit()
22     cursor.close()
23     conexion.close()
24 excel_to_mysql_f_c_real()

```

### Código Python 3 Función para exportar los datos de f/c real

```

26 def excel_to_mysql_agua():
27     data = pd.read_excel("Z:\TESIS - PYTHON\DATOS LABORATORIO ORIGINAL.xlsx", sheet_name="export_to_mysql")
28     f_creal = data['cantidad_agua'].values
29     conexion = Conectar().conexion
30     cursor = conexion.cursor()
31
32     for i in f_creal:
33         sql = """INSERT INTO agua (cantidad) VALUES (%s)"""
34         value = tuple([i])
35         cursor.execute(sql, value)
36         conexion.commit()
37     print(cursor.rowcount)
38     cursor.close()
39     conexion.close()
40 excel_to_mysql_agua()

```

### Código Python 4 Función para exportar los datos de agua

```

42 def excel_to_mysql_cemento():
43     data = pd.read_excel("Z:\TESIS - PYTHON\DATOS LABORATORIO ORIGINAL.xlsx", sheet_name="export_to_mysql")
44     c_cemento = data['cantidad_cemento'].values.tolist()
45     c_tipo = data['tipo'].values.tolist()
46     pe_cemento = data['pe_cemento'].values.tolist()
47     lista=[]
48     conexion = Conectar().conexion
49     cursor = conexion.cursor()
50     sql = """INSERT INTO cemento (cantidad, tipo, peso_especifico) VALUES (%s, %s, %s)"""
51     for i in range(0,len(c_cemento)):
52         value = (float(c_cemento[i]),
53                float(c_tipo[i]),
54                float(pe_cemento[i]),)
55         lista.append(value)
56     cursor.executemany(sql, lista)
57     conexion.commit()
58     print(cursor.rowcount)
59     cursor.close()
60     conexion.close()
61 excel_to_mysql_cemento()

```

### Código Python 5 Función para exportar los datos de cemento

```

63 def excel_to_mysql_af():
64     data = pd.read_excel("Z:\TESIS - PYTHON\DATOS_LABORATORIO_ORIGINAL.xlsx", sheet_name="export_to_mysql")
65     af_cantidad = data['cantidad_af'].values.tolist()
66     af_mf= data['mf_af'].values.tolist()
67     af_pe = data['pe_af'].values.tolist()
68     af_pss = data['pss_af'].values.tolist()
69     af_psc = data['psc_af'].values.tolist()
70     af_h = data['h_af'].values.tolist()
71     af_abs = data['abs_af'].values.tolist()
72     lista=[]
73     conexion = Conectar().conexion
74     cursor = conexion.cursor()
75     sql = """INSERT INTO agregado_fino (cantidad, mf, peso_especifico,peso_seco_suelto,
76     peso_seco_compactado, humedad, absorcion) VALUES (%s, %s, %s, %s, %s, %s, %s)"""
77
78     for i in range(0,len(af_cantidad)):
79         value = (float(af_cantidad[i]),
80                 float(af_mf[i]),
81                 float(af_pe[i]),
82                 float(af_pss[i]),
83                 float(af_psc[i]),
84                 float(af_h[i]),
85                 float(af_abs[i]),
86                 )
87         lista.append(value)
88     cursor.executemany(sql, lista)
89     conexion.commit()
90     print(cursor.rowcount)
91     cursor.close()
92     conexion.close()
93     excel_to_mysql_af()

```

*Código Python 6 Función para exportar datos de agregado fino*

```

95 def excel_to_mysql_ag():
96     data = pd.read_excel("Z:\TESIS - PYTHON\DATOS_LABORATORIO_ORIGINAL.xlsx", sheet_name="export_to_mysql")
97     ag_cantidad = data['cantidad_ag'].values.tolist()
98     ag_mf= data['mf_ag'].values.tolist()
99     ag_tm= data['tmn_ag'].values.tolist()
100    ag_pe = data['pe_ag'].values.tolist()
101    ag_pss = data['pss_ag'].values.tolist()
102    ag_psc = data['psc_ag'].values.tolist()
103    ag_h = data['h_ag'].values.tolist()
104    ag_abs = data['abs_ag'].values.tolist()
105    lista=[]
106    conexion = Conectar().conexion
107    cursor = conexion.cursor()
108    sql = """INSERT INTO agregado_grosso (cantidad, mf, tmn, peso_especifico,peso_seco_suelto,
109    peso_seco_compactado, humedad, absorcion) VALUES (%s, %s, %s, %s, %s, %s, %s, %s)"""
110    for i in range(0,len(ag_cantidad)):
111        value = (float(ag_cantidad[i]),
112                float(ag_mf[i]),
113                float(ag_tm[i]),
114                float(ag_pe[i]),
115                float(ag_pss[i]),
116                float(ag_psc[i]),
117                float(ag_h[i]),
118                float(ag_abs[i]),
119                )
120        lista.append(value)
121    cursor.executemany(sql, lista)
122    conexion.commit()
123    print(cursor.rowcount)
124    cursor.close()
125    conexion.close()
126    excel_to_mysql_ag()

```

*Código Python 7 Función para exportar datos de agregado grueso*

Una vez concluida la exportación de los datos del archivo Excel a MySQL, mediante el código que se proporcionó anteriormente, se creara la red neuronal en TensorFlow.

### 4.2.3. *Parámetros de entrada y salida de la red neuronal*

La Tabla 8 describe brevemente cada parámetro, su unidad de medida y su función, ya sea como entrada o salida del modelo predictivo. La Tabla 9 muestra una distribución detallada de la cantidad de datos recopilados en función de diferentes rangos de  $f'c$  en  $\text{kg}/\text{cm}^2$ .

Parámetro	Unidad	Características
Resistencia a la compresión	$\text{kg}/\text{cm}^2$	Salida
Cantidad de cemento	Kg	Entrada
Tipo de cemento	-	Entrada
Peso específico del cemento	$\text{kg}/\text{m}^3$	Entrada
Cantidad de agua	Lt	Entrada
Cantidad de agregado fino	Kg	Entrada
Módulo de fineza del agregado fino	-	Entrada
Peso específico del agregado fino	$\text{kg}/\text{m}^3$	Entrada
PUSS del agregado fino	$\text{kg}/\text{m}^3$	Entrada
PUCS del agregado fino	$\text{kg}/\text{m}^3$	Entrada
Humedad del agregado fino	%	Entrada
Absorción del agregado fino	%	Entrada
Cantidad de agregado grueso	Kg	Entrada
Módulo de fineza del agregado grueso	-	Entrada
TMN	Pulg	Entrada
Peso específico del agregado grueso	$\text{kg}/\text{m}^3$	Entrada
PUSS del agregado grueso	$\text{kg}/\text{m}^3$	Entrada
PUCS del agregado grueso	$\text{kg}/\text{m}^3$	Entrada
Humedad del agregado grueso	%	Entrada
Absorción del agregado grueso	%	Entrada

*Tabla 5 Características de los datos de entrada y salida*

Número	Rango $f'c$ ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )	Cantidad de datos
1	150 – 200	80
2	200 – 250	101
3	250 – 300	124
4	300 – 350	118
5	350 - 400	42
Total		465

*Tabla 6 Número de datos en un rango de  $f'c$  específico*

### 4.2.1. Creación de la red neuronal

Para la creación de la red neuronal usaremos TensorFlow que es una librería que nos proporciona Google para Machine Learning y es de uso gratuito.

Se realizó las respectivas importaciones de las librerías como es Pandas y Tensorflow.

En la librería TensorFlow, contamos con una clase denominada Sequential, con la que podemos crear redes neuronales de arquitectura Multilayer Perceptron (MLP). Para la capa de entrada tenemos 19 variables en las cuales están las características de los agregados, cantidades, tipo cemento, p.e del cemento, y para la capa de salida 1 variable que es el valor del  $f^c$  del concreto, como se muestra en la tabla 8.

Para determinar la configuración inicial de la red neuronal, se llevaron a cabo pruebas con una capa oculta y dos capas ocultas, en la cual se iba variando las neuronas para cada capa. Después de realizar estas pruebas se determinó la que configuración óptima era contar con dos capas ocultas 16 y 8 neuronas respectivamente, usando el activador relu y la función de perdida el error cuadrático medio, fue la que mejor se adaptó, evitando el underfitting y overfitting.

Para el entrenamiento, se extrajo lo datos de la base de datos MySQL donde se almacenó la data recogida por el investigador.

```

modelo = keras.Sequential([keras.layers.Dense(16, activation='relu'), keras.layers.Dense(8, activation='relu')
                            , keras.layers.Dense(1)])
modelo.compile(optimizer=optimizer, loss='mean_squared_error')
datos_entrada_entrenamiento = datos_x()
f_c_entrenamiento = datos_y()
modelo.fit(datos_entrada_entrenamiento, f_c_entrenamiento, epochs=500)

```

#### Código Python 8 Modelo de la red neuronal

```

import pandas as pd
from tensorflow import keras
import mysql.connector
import numpy as np

class Conectar:
    def __init__(self):
        self.connect = mysql.connector.connect(
            host="localhost",
            user="*****",
            password="*****",
            port="*****",
            database="tesis")
    def datos_x(): ...
    def datos_y(): ...

```

#### Código Python 9 Esquema extraer los datos de MySQL

```

def datos_x():
    matriz = []
    nombres = ['f_c_real', 'cemento', 'agua', 'agregado_fino', 'agregado_grueso']

    with Conectar().connect as conexion:
        cursor = conexion.cursor()
        for i in nombres:

            if i == 'cemento':
                lista_cemento = ['cantidad',
                                  'tipo',
                                  'peso_especifico',
                                  1]
                sql = """SELECT {}, {}, {} FROM {}""".format(*lista_cemento)
                cursor.execute(sql)
                cemento = cursor.fetchall()
                matriz.append(np.array(cemento))

            elif i == 'agua':
                lista_agua = ['cantidad',
                              1]
                sql = """SELECT {} FROM {}""".format(*lista_agua)
                cursor.execute(sql)
                agua = cursor.fetchall()
                matriz.append(np.array(agua))

            elif i == 'agregado_fino':
                lista_af = ['cantidad',
                            'mf',
                            'peso_especifico',
                            'peso_seco_suelto',
                            'peso_seco_compactado',
                            'humedad',
                            'absorcion',
                            1]
                sql = """SELECT {}, {}, {}, {}, {}, {}, {} FROM {}""".format(*lista_af)
                cursor.execute(sql)
                agregado_f = cursor.fetchall()
                matriz.append(np.array(agregado_f))

            elif i == 'agregado_grueso':
                lista_ag = ['cantidad',
                            'mf',
                            'tmn',
                            'peso_especifico',
                            'peso_seco_suelto',
                            'peso_seco_compactado',
                            'humedad',
                            'absorcion',
                            1]
                sql = """SELECT {}, {}, {}, {}, {}, {}, {}, {} FROM {}""".format(*lista_ag)
                cursor.execute(sql)
                agregado_g = cursor.fetchall()
                matriz.append(np.array(agregado_g))
                matriz_general = np.concatenate(matriz, axis =1)
            conexion.commit()
            cursor.close()
            conexion.close()
        return matriz_general

```

*Código Python 10 Datos de entrada obtenido de MySQL*

```

def datos_y():

    with Conectar().connect as conexion:
        cursor = conexion.cursor()
        lista_resistencia = ['f_c_kg_cm2',
                              'f_c_real']
        sql = """SELECT {} FROM {}""".format(*lista_resistencia)
        cursor.execute(sql)
        fc_sql = cursor.fetchall()
        conexion.commit()
        cursor.close()
        conexion.close()
    return np.array(fc_sql)

```

*Código Python 11 Datos de salida obtenida de MySQL*

Posteriormente, se realizó la comparación a cuatro optimizadores mencionados anteriormente, que se encuentran en la librería de TensorFlow.

### 4.3. Lugar de procedencia de los agregados para las muestras de control

#### 4.3.1. *Cantera Tres Tomas*

La cantera seleccionada se encuentra en el distrito de Mesones Muro. Este distrito pertenece a la provincia de Ferreñafe. La elección de esta cantera fue debido a la cercanía y al gran uso que se les da a los agregados de esta zona para la construcción. Los agregados fueron tomados de la chancadora Bomboncito y Sicán.

### 4.3.2. *Cantera Pacherez*

La cantera seleccionada se encuentra en el distrito de Pucalá. Este distrito pertenece a la provincia de Chiclayo. La elección de esta cantera fue debido a la cercanía y al gran uso que se les da a los agregados de esta zona para la construcción.

## 4.4. Ensayos realizados al agregado fino

### 4.4.1. *Granulometría del agregado fino*

#### 4.4.1.1. *Cantera Tres Tomas*

Malla	Peso	(%)	(%)	(%)	Especificaciones:	
Pulg.	(mm.)	Ret.	Ret.	Ret.	Que Pasa	
1/2"	12.700	0	0.0	0.0	100.0	100
3/8"	9.500	0	0.0	0.0	100.0	100
Nº 04	4.750	2.36	0.5	0.5	99.5	95
Nº 08	2.360	26.35	5.3	5.7	94.3	80
Nº 16	1.180	173.69	34.6	40.3	59.7	50
Nº 30	0.600	119.87	23.9	64.2	35.8	25
Nº 50	0.300	96.83	19.3	83.5	16.5	10
Nº 100	0.150	56.0	11.2	94.7	5.3	2
Fondo		26.65	5.3	100.0	0.0	
Módulo de Fineza				2.890		

Tabla 10 *Granulometría del agregado fino - Cantera Tres Tomas*

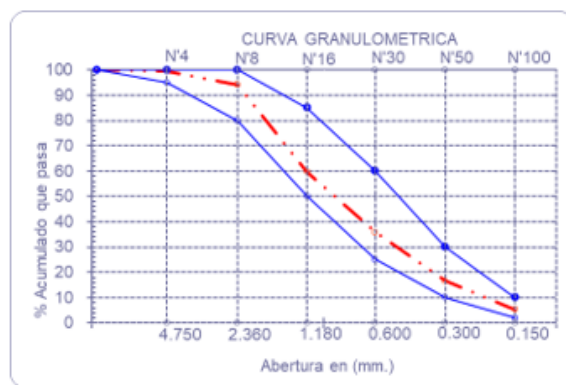


Ilustración 8 *Curva granulométrica del agregado fino - Cantera Tres Tomas*

#### 4.4.1.1. Cantera Pacherez

Malla	Peso	(%)	(%) Acum.	(%) Acum.	Especificaciones:	
Pulg.	(mm.)	Ret.	Ret.	Ret.	Que Pasa	
1/2"	0.000	0.00	0.0	0.0	100.0	100
3/8"	9.500	0.00	0.0	0.0	100.0	100
Nº 04	4.750	2.00	0.4	0.4	99.6	95
Nº 08	2.360	52.50	10.5	10.9	89.1	80
Nº 16	1.180	127.50	25.5	36.4	63.6	50
Nº 30	0.600	160.50	32.1	68.5	31.5	25
Nº 50	0.300	86.00	17.2	85.7	14.3	10
Nº 100	0.150	51.00	10.2	95.9	4.1	2
Fondo		20.50	4.1	100	0	
<b>Módulo de Fineza</b>			2.978			
<b>Abertura de malla de referencia</b>			9.500			

Tabla 11 Granulometría del agregado fino - Cantera Pacherez

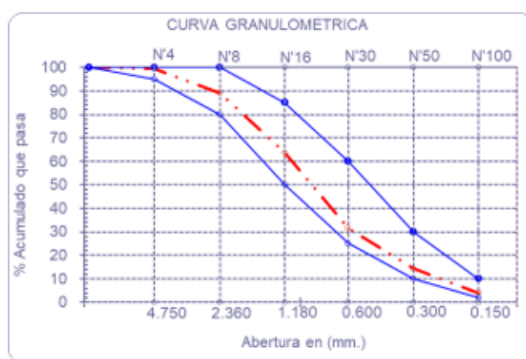


Ilustración 9 Curva granulométrica del agregado fino - Cantera Pacherez

#### 4.4.2. Humedad del agregado fino

##### 4.4.2.1. Cantera Tres Tomas

1.- Peso de la muestra húmeda	504.1	504.1
2.- Peso de la muestra seca	496.6	496.6
3.- Cont. Humedad	1.51	1.51
4.- Promedio		1.51%

Tabla 12 Humedad del agregado fino - Cantera Tres Tomas

#### 4.4.2.2. Cantera Pacherez

1.- Peso de la muestra húmeda	<b>500</b>	500
2.- Peso de la muestra seca	495.3	495.3
3.- Cont. Humedad	0.95	0.95
4.- Promedio		0.95%

Tabla 13 Humedad del agregado fino - Cantera Pacherez

#### 4.4.3. Absorción del agregado fino

##### 4.4.3.1. Cantera Tres Tomas

1.- Peso de la Muestra. Sat. Sup. Seca.	500	500
2.- Peso de la Muestra. seca en el horno.	495	495
3.- Porcentaje de absorción	1.03	1.03
4.- Promedio		1.03%

Tabla 14 Absorción del agregado fino - Cantera Tres Tomas

##### 4.4.3.2. Cantera Pacherez

1.- Peso de la Muest. Sat. Sup. Seca.	<b>500</b>	500
2.- Peso de la Muest. seca en el horno.	491.5	494.2
3.- Porcentaje de absorción	1.73	1.17
4.- Promedio		1.45%

Tabla 15 Absorción del agregado fino - Cantera Pacherez

#### 4.4.4. Peso específico del agregado fino

##### 4.4.4.1. Cantera Tres Tomas

A.- Peso específico del agregado fino	7/(8-4)	g/cm <sup>3</sup>	2.523	2.529	<b>2.526</b>
---------------------------------------	---------	-------------------	-------	-------	--------------

Tabla 7 Peso específico del agregado fino cantera - Tres Tomas

##### 4.4.4.2. Cantera Pacherez

A.- Peso específico del agregado fino	7/(8-4)	g/cm <sup>3</sup>	2.373	2.375	<b>2.374</b>
---------------------------------------	---------	-------------------	-------	-------	--------------

Tabla 8 Peso específico del agregado fino - Cantera Pacherez

#### 4.4.5. Peso unitario y de vacíos del agregado fino

##### 4.4.5.1. PUSS - Cantera Tres Tomas

- Peso de la muestra húmeda	8272	8296
- Volumen del molde		0.0053
- Peso unitario suelto húmedo		1563
- PESO UNIT. SUELTO SECO		1539 kg/m <sup>3</sup>

Tabla 18 Peso unitario suelto seco del agregado fino – Cantera Tres Tomas

#### 4.4.5.2. PUCS – Cantera Tres Tomas

- Peso de la muestra húmeda	9616	9568
- Volumen del molde		0.0053
- Peso unitario suelto húmedo		1809
- PESO UNIT. COMPACTADO SECO		1782 kg/m <sup>3</sup>

Tabla 19 Peso unitario compactado seco del agregado fino – Cantera Tres Tomas

#### 4.4.5.3. PUSS – Cantera Pacherez

- Peso de la muestra húmeda	<b>8788</b>	8779
- Volumen del molde		0.0053
- Peso unitario suelto húmedo		1657
- PESO UNIT. SUELTO SECO		1641 kg/m <sup>3</sup>

Tabla 20 Peso unitario suelto seco del agregado fino – Cantera Pacherez

#### 4.4.5.4. PUCS – Cantera Pacherez

- Peso de la muestra húmeda	10035	10059
- Volumen del molde		0.00530
- Peso unitario suelto húmedo		1895
- PESO UNIT. COMPACTADO SECO		1877

Tabla 21 Peso unitario compactado seco del agregado fino – Cantera Pacherez

### 4.5. Ensayos realizados al agregado grueso

#### 4.5.1. Análisis granulométrico

##### 4.5.1.1. Agregado grueso – cantera Tres Tomas

- TMN 3/4"

Malla	Peso	(%)	(%) Acum.	(%) Acum.	HUSO 56		
Pulg.	(mm.)	Ret.	Ret.	Ret.	Que Pasa		
2"	50.00	0.0	0.0	0.0	100.0		
1 1/2"	38.00	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
1"	25.00	0.0	0.0	0.0	100.0	90.0	100.0
3/4"	19.00	871.8	43.6	43.6	56.4	40.0	85.0
1/2"	12.70	863.7	43.2	86.7	13.3	10.0	40.0
3/8"	9.52	206.1	10.3	97.0	3.0	0.0	15.0
Nº 04	4.75	59.7	3.0	100.0	0.0	0.0	5.0
Nº 08	2.36	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
Nº 16	1.19	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
Fondo		0.3	0.0	100.0	0.0		
Tamaño Máximo			1"	25.00			
Tamaño Máximo Nominal			3/4"	19.00			
Módulo de Fineza				7.41			

Tabla 22 Granulometría del agregado grueso TMN 3/4" - Cantera Tres Tomas

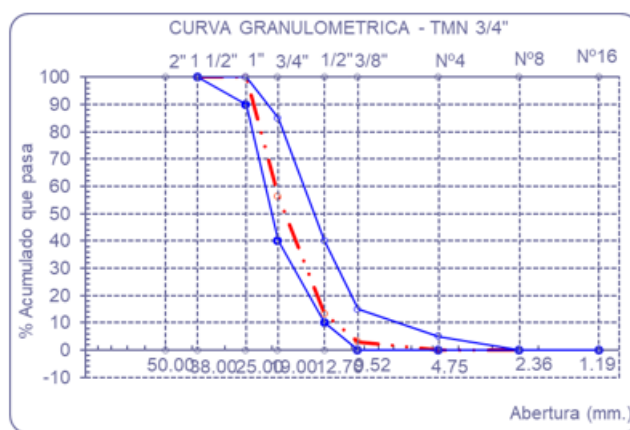


Ilustración 10 Curva granulométrica del agregado grueso TMN 3/4" - Cantera Tres Tomas

- TMN 1/2"

Malla	Peso	(%)	(%) Acum.	(%) Acum.	HUSO 6		
Pulg.	(mm.)	Ret.	Ret.	Ret.	Que Pasa		
2"	50.00	0.0	0.0	0.0	100.0		
1 1/2"	38.00	0.0	0.0	0.0	100.0		
1"	25.00	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
3/4"	19.00	0.0	0.0	0.0	100.0	90.0	100.0
1/2"	12.70	980.6	54.5	54.5	45.5	20.0	55.0
3/8"	9.52	663.8	36.9	91.4	8.6	0.0	15.0
Nº 04	4.75	155.7	8.7	100.0	0.0	0.0	5.0
Nº 08	2.36	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
Nº 16	1.19	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
Fondo		0.1	0.0	100.0	0.0		
Tamaño Máximo			3/4"	19.00			
Tamaño Máximo Nominal			1/2"	12.70			
Módulo de Fineza				6.91			

Tabla 23 Granulometría del agregado grueso TMN 1/2" - Cantera Tres Tomas

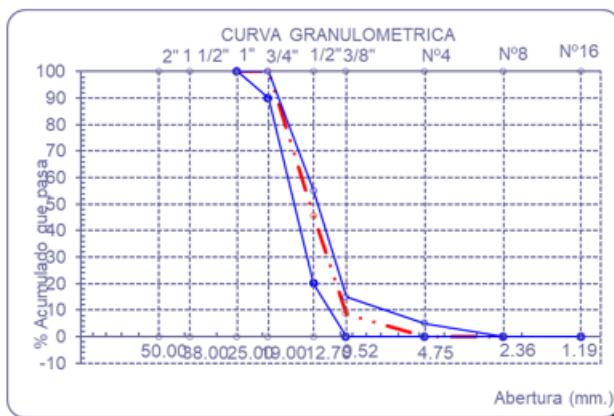


Ilustración 11 Curva granulométrica del agregado grueso TMN 1/2" - Cantera Tres Tomas

4.5.1.1. Agregado grueso – cantera Pacherez

- TMN 3/4"

Malla	Peso	(%)	(%) Acum.	(%) Acum.	HUSO 56		
Pulg.	(mm.)	Ret.	Ret.	Ret.	Que Pasa		
2"	50.00	0.0	0.0	0.0	100.0		
1 1/2"	38.00	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
1"	25.00	0.0	0.0	0.0	100.0	90.0	100.0
3/4"	19.00	905.2	45.3	45.3	54.7	40.0	85.0
1/2"	12.70	743.7	37.2	82.4	17.6	10.0	40.0
3/8"	9.52	257.4	12.9	95.3	4.7	0.0	15.0
Nº 04	4.75	93.9	4.7	100.0	0.0	0.0	5.0
Nº 08	2.36	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
Nº 16	1.19	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
Fondo		0.1	0.0	100.0	0.0		
Tamaño Máximo			1"	25.00			
Tamaño Máximo Nominal			3/4"	19.00			
Módulo de Fineza			7.41				

Tabla 24 Granulometría del agregado grueso TMN 3/4" - Cantera Pacherez

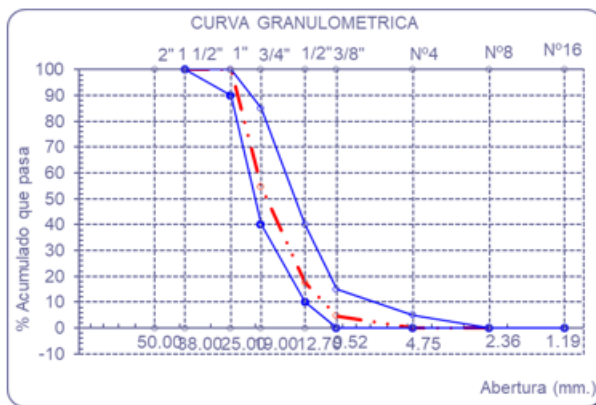


Ilustración 12 Curva granulométrica del agregado grueso TMN 3/4" - Cantera Pacherez

- TMN 1/2"

Malla	Peso	(%)	(%) Acum.	(%) Acum.	HUSO 6		
Pulg.	(mm.)	Ret.	Ret.	Ret.	Que Pasa		
2"	50.00	0.0	0.0	0.0	100.0		
1 1/2"	38.00	0.0	0.0	0.0	100.0		
1"	25.00	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
3/4"	19.00	0.0	0.0	0.0	100.0	90.0	100.0
1/2"	12.70	978.3	54.4	54.4	45.6	20.0	55.0
3/8"	9.52	672.1	37.3	91.7	8.3	0.0	15.0
Nº 04	4.75	149.5	8.3	100.0	0.0	0.0	5.0
Nº 08	2.36	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
Nº 16	1.19	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
Fondo		0.0	0.0	100.0	0.0		
Tamaño Máximo			3/4"	19.00			
Tamaño Máximo Nominal			1/2"	12.70			
Módulo de Fineza				6.92			

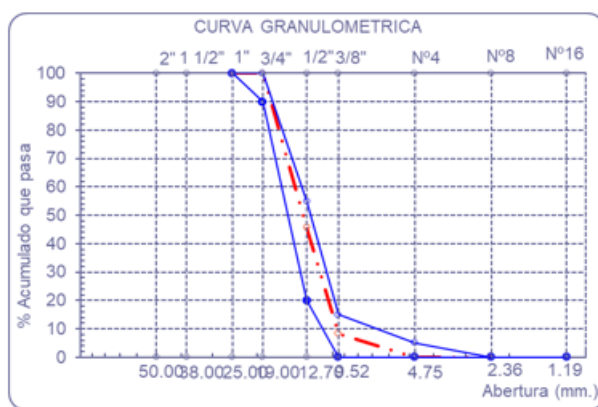


Ilustración 13 Curva granulométrica del agregado grueso TMN 1/2" - Cantera Pacherez

## 4.5.2. Humedad del agregado grueso

### 4.5.2.1. Cantera Tres Tomas

TMN	HUMEDAD
3/4"	0.50%
1/2"	0.55%

Tabla 9 Humedad del agregado grueso - Cantera Tres Tomas

### 4.5.2.2. Cantera Pacherez

TMN	HUMEDAD
3/4"	0.60%
1/2"	0.77%

Tabla 10 Humedad del agregado grueso - Cantera Tres Tomas

## 4.5.3. Absorción del agregado grueso

#### 4.5.3.1. Cantera Tres Tomas

TMN	ABSORCIÓN
3/4"	0.81%
1/2"	0.44%

Tabla 12 Absorción del agregado grueso - Cantera Tres Tomas

#### 4.5.3.2. Cantera Pacherez

TMN	ABSORCIÓN
3/4"	0.70%
1/2"	1.08%

Tabla 13 Absorción del agregado grueso - Cantera Pacherez

### 4.5.4. Peso específico del agregado grueso

#### 4.5.4.1. Cantera Tres Tomas

TMN	PESO ESPECÍFICO
3/4"	2461.24 Kg/m <sup>3</sup>
1/2"	2578.64 Kg/m <sup>3</sup>

Tabla 14 Peso específico del agregado grueso - Cantera Tres Tomas

#### 4.5.4.2. Cantera Pacherez

TMN	PESO ESPECÍFICO
3/4"	2487.87 Kg/m <sup>3</sup>
1/2"	2341.33 Kg/m <sup>3</sup>

Tabla 15 Peso específico del agregado grueso - Cantera Pacherez

### 4.5.5. Peso unitario y de vacíos del agregado grueso

#### 4.5.5.1. Cantera Tres Tomas

TMN	PUSS	PUCS
3/4"	1501.38 Kg/m <sup>3</sup>	1642.24 Kg/m <sup>3</sup>
1/2"	1551.24 Kg/m <sup>3</sup>	1687.34 Kg/m <sup>3</sup>

Tabla 16 Peso unitario seco suelto y compactado - Cantera Tres Tomas

#### 4.5.5.2. Cantera Pacherez

TMN	PUSS	PUCS
3/4"	1487.33 Kg/m <sup>3</sup>	1541.58 Kg/m <sup>3</sup>
1/2"	1491.74 Kg/m <sup>3</sup>	1552.47 Kg/m <sup>3</sup>

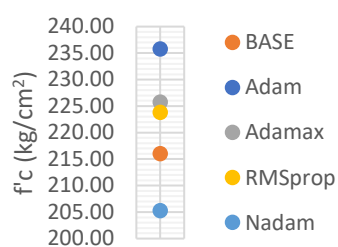
Tabla 17 Peso unitario seco suelto y compactado - Cantera Pacherez

#### 4.6. Comparación de los optimizadores

f'c real (kg/cm <sup>2</sup> )	Optimizador	f'c predicho 1 (kg/cm <sup>2</sup> )	f'c predicho 2 (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje
216.00	Adam	251.025	220.522	235.774	91%
	Adamax	245.183	206.219	225.701	96%
	RMSprop	240.046	207.493	223.770	96%
	Nadam	197.7	212.813	205.257	95%

Tabla 11 Primera comparación de optimizadores

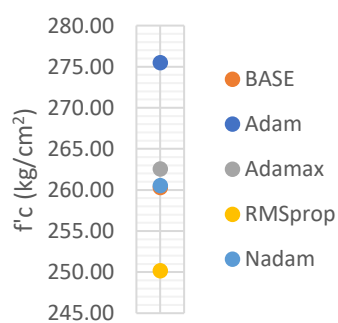
#### I COMPARACIÓN



f'c real (kg/cm <sup>2</sup> )	Optimizador	f'c predicho 1 (kg/cm <sup>2</sup> )	f'c predicho 2 (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje
260.30	Adam	270.691	280.289	275.490	94%
	Adamax	264.698	260.402	262.550	99%
	RMSprop	259.305	241.059	250.182	96%
	Nadam	258.625	262.404	260.515	100%

Tabla 12 Segunda comparación de optimizadores

#### II COMPARACIÓN



f'c real (kg/cm <sup>2</sup> )	Optimizador	f'c predicho 1 (kg/cm <sup>2</sup> )	f'c predicho 2 (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje
310.00	Adam	289.96	274.905	282.433	94%
	Adamax	314.582	304.052	309.317	99%
	RMSprop	328.396	271.343	299.870	94%
	Nadam	265.972	294.803	280.388	86%

Tabla 13 Tercera comparación de optimizadores



277.28	269.21823	8.06	2.99%
312.65	317.65930	5.01	1.58%
194.00	222.83969	28.84	12.94%
209.00	224.91609	15.92	7.08%
294.00	285.65698	8.34	2.92%
304.00	317.52338	13.52	4.26%
333.00	310.90756	22.09	7.11%
338.00	299.03880	38.96	13.03%
273.03	269.11725	3.91	1.45%
270.21	269.48395	0.73	0.27%
260.30	269.07468	8.77	3.26%
250.40	262.24954	11.85	4.52%
311.23	318.40994	7.18	2.25%
256.06	269.79984	13.74	5.09%

Tabla 14 Valores del  $f_c$  obtenido en laboratorio y el  $f_c$  predicho por la red neuronal

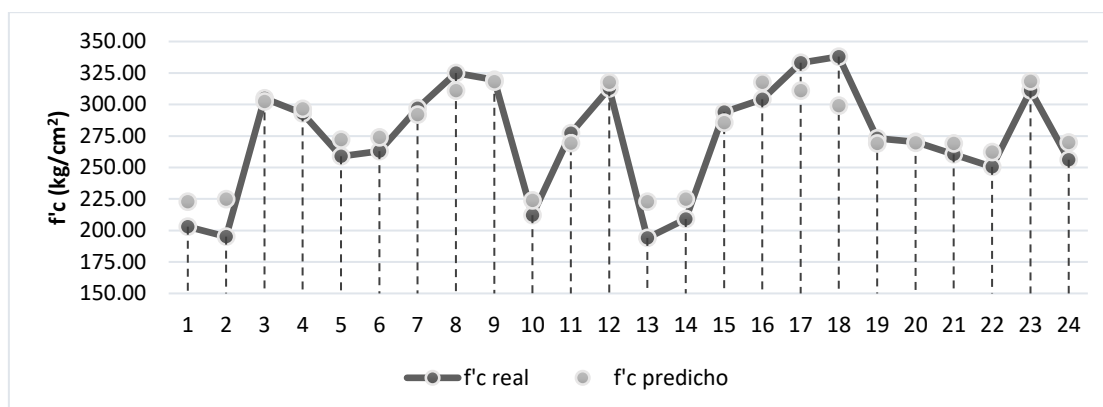


Ilustración 8  $f_c$  real vs  $f_c$  predicho

La Tabla 37 que muestra la comparación entre el  $f_c$  real y las predicciones generadas por la red neuronal ( $f_c$  predicho) representa un elemento crucial de esta evaluación. Según una revisión de estos resultados, las predicciones tienen un alto nivel de precisión y, en el intervalo de 210 a 325 kg/cm<sup>2</sup>, hay una marcada convergencia entre los valores reales y los valores predichos. Según este alineamiento, la red neuronal puede aprender con éxito en este rango de  $f_c$ .

#### 4.8. Influencia del tipo de cemento en el $f_c$ del concreto a los 28 días

$f_c$ real kg/cm <sup>2</sup>	TIPO I kg/cm <sup>2</sup>	TIPO MS kg/cm <sup>2</sup>	VARIACIÓN
216	209.942	204.771	2.5%
260.3	272.658	269.623	1.1%
310	297.11	291.978	1.7%

Tabla 15 Comparación del  $f_c$  con el tipo de cemento

Los hallazgos indicaron que, a los 28 días, el cemento tipo I es más resistente a la compresión que el cemento tipo Ms. Esto se ha evaluado con los mismos valores obtenidos en el diseño de mezcla, así como con las características de los agregados utilizados en el estudio.

#### 4.9. Influencia del peso específico del cemento en el $f'c$ del concreto a los 28 días

##### 4.9.1. *Peso específico del cemento*

##### Prueba I

$f'c$ predicho	Peso específico real
204.771	2960.000

$f'c$ predicho	Peso específico modificado
218.09	3000.000
166.679	2800.000

Tabla 16 Influencia del peso específico del cemento prueba I

##### Prueba II

$f'c$ predicho	Peso específico real
269.623	3100.000

$f'c$ predicho	Peso específico modificado
286.943	3200.000
263.953	3000.000

Tabla 17 Influencia del peso específico del cemento prueba II

##### Prueba III

$f'c$ predicho	Peso específico real
297.11	3140.000

$f'c$ predicho	Peso específico modificado
334.195	3300.000

<b>263.953</b>	3000.000
----------------	----------

*Tabla 18 Influencia del peso específico del cemento prueba III*

Se ha demostrado que existe una relación directa entre la f'c del concreto y el peso específico del cemento. En otras palabras, el valor f'c del concreto aumenta a medida que aumenta su peso específico. De manera similar, el f'c del concreto tiende a disminuir a medida que disminuye su peso específico.

#### 4.10. Influencia de la relación agua – cemento en el f'c del concreto a los 28 días

##### 4.10.1. Relación agua – cemento

###### Prueba I

<b>f'c predicho</b>	<b>a/c real</b>
<b>296.92</b>	0.558

<b>f'c predicho</b>	<b>a/c modificado</b>
<b>296.745</b>	0.600
<b>297.433</b>	0.440

*Tabla 19 Influencia de la relación a/c prueba I*

###### Prueba II

<b>f'c predicho</b>	<b>a/c real</b>
<b>318.88</b>	0.462

<b>f'c predicho</b>	<b>a/c modificado</b>
<b>317.784</b>	0.508
<b>319.044</b>	0.376

*Tabla 20 Influencia de la relación a/c prueba II*

###### Prueba III

<b>f'c predicho</b>	<b>a/c real</b>
<b>262.09</b>	0.535

<b>f'c predicho</b>	<b>a/c modificado</b>
<b>261.033</b>	0.587
<b>264.059</b>	0.435

*Tabla 21 Influencia de la relación a/c prueba III*

Se observa que el valor  $f'c$  del concreto disminuye a medida que aumenta la relación  $a/c$ . De manera similar, el  $f'c$  del concreto tiende a aumentar cuando la relación  $a/c$  disminuye.

#### 4.11. Influencia del MF de los agregados en el $f'c$ del concreto a los 28 días

##### 4.11.1. Agregado fino

###### Prueba I

$f'c$ predicho	MF AF real
204.771	2.800

$f'c$ predicho	MF AF modificado
204.72	2.900
204.837	2.700

Tabla 22 Influencia del MF del agregado fino prueba I

###### Prueba II

$f'c$ predicho	MF AF real
269.623	2.870

$f'c$ predicho	MF AF modificado
269.589	3.000
269.657	2.700

Tabla 23 Influencia del MF del agregado fino prueba II

###### Prueba III

$f'c$ predicho	MF AF real
297.11	3.060

$f'c$ predicho	MF AF modificado
297.034	3.200
297.34	2.800

Tabla 24 Influencia del MF del agregado fino prueba III

Como se demostró en las pruebas, el módulo de fineza del agregado fino (MF AF) no tiene una influencia significativa en el  $f'c$  del concreto. A medida que aumenta el MF del agregado fino, el  $f'c$  disminuye en un rango del 0.05%, y viceversa.

##### 4.11.2. Agregado grueso

**Prueba I**

<b>f'c predicho</b>	<b>MF AG real</b>
<b>204.771</b>	<b>8.000</b>

<b>f'c predicho</b>	<b>MF AG modificado</b>
<b>205.114</b>	<b>8.500</b>
<b>204.667</b>	<b>7.500</b>

*Tabla 25 Influencia del MF del agregado grueso prueba I*

**Prueba II**

<b>f'c predicho</b>	<b>MF AG real</b>
<b>269.623</b>	<b>7.030</b>

<b>f'c predicho</b>	<b>MF AG modificado</b>
<b>270.536</b>	<b>7.530</b>
<b>268.946</b>	<b>6.530</b>

*Tabla 26 Influencia del MF del agregado grueso prueba II*

**Prueba III**

<b>f'c predicho</b>	<b>MF AG real</b>
<b>297.11</b>	<b>8.100</b>

<b>f'c predicho</b>	<b>MF AG modificado</b>
<b>297.447</b>	<b>8.600</b>
<b>297.012</b>	<b>7.600</b>

*Tabla 27 Influencia del MF del agregado grueso prueba III*

Como se demostró en las pruebas, el módulo de fineza del agregado grueso (MF AG) no tiene una influencia significativa en el f'c del concreto. A medida que aumenta el MF del agregado grueso, el f'c aumenta en un rango del 0.05%, y viceversa.

#### **4.12. Influencia del peso específico de los agregados en el f'c del concreto a los 28 días**

##### **4.12.1. Agregado fino**

**Prueba I**

<b>f'c predicho</b>	<b>Peso específico real</b>
<b>204.771</b>	<b>2620.000</b>

<b>f'c predicho</b>	<b>Peso específico modificado</b>
<b>224.372</b>	2650.000
<b>184.054</b>	2590.000

*Tabla 51 Influencia del peso específico del agregado fino prueba I*

### **Prueba II**

<b>f'c predicho</b>	<b>Peso específico real</b>
<b>269.623</b>	2470.000

<b>f'c predicho</b>	<b>Peso específico modificado</b>
<b>277.344</b>	2500.000
<b>262.2644</b>	2440.000

*Tabla 52 Influencia del peso específico del agregado fino prueba II*

### **Prueba III**

<b>f'c predicho</b>	<b>Peso específico real</b>
<b>297.11</b>	2630.000

<b>f'c predicho</b>	<b>Peso específico modificado</b>
<b>326.746</b>	2700.000
<b>242.221</b>	2550.000

*Tabla 53 Influencia del peso específico del agregado fino prueba III*

Se demostró durante las pruebas que existe una correlación directa entre el valor de peso específico del agregado fino y el valor de f'c del concreto. En otras palabras, la f'c del concreto aumenta con el peso específico del agregado fino.

#### **4.12.2. Agregado grueso**

### **Prueba I**

<b>f'c predicho</b>	<b>Peso específico real</b>
<b>204.771</b>	2720.000

<b>f'c predicho</b>	<b>Peso específico modificado</b>
<b>193.336</b>	2750.000
<b>230.681</b>	2650.000

Tabla 28 Influencia del peso específico del agregado grueso prueba I

### Prueba II

<b>f'c predicho</b>	<b>Peso específico real</b>
<b>269.623</b>	2630.000

<b>f'c predicho</b>	<b>Peso específico modificado</b>
<b>258.702</b>	2680.000
<b>280.061</b>	2580.000

Tabla 29 Influencia del peso específico del agregado grueso prueba II

### Prueba III

<b>f'c predicho</b>	<b>Peso específico real</b>
<b>297.11</b>	2670.000

<b>f'c predicho</b>	<b>Peso específico modificado</b>
<b>278.554</b>	2720.000
<b>323.134</b>	2600.000

Tabla 30 Influencia del peso específico del agregado grueso prueba III

Se demostró durante las pruebas que existe una relación inversa entre el valor de peso específico del agregado grueso y el valor f'c del concreto. Por decirlo de otra manera, la f'c del concreto disminuye a medida que aumenta el peso específico del agregado grueso.

## 4.13. Influencia del TMN del agregado grueso en el f'c del concreto

### 4.13.1. Agregado grueso

#### Prueba I

<b>f'c predicho</b>	<b>TMN real</b>
<b>296.92</b>	3/4"

<b>f'c predicho</b>	<b>TMN modificado</b>
<b>297.012</b>	<b>1/2"</b>

Tabla 31 Influencia del TMN del agregado grueso prueba I

### Prueba I

<b>f'c predicho</b>	<b>TMN real</b>
<b>318.88</b>	<b>3/4"</b>

<b>f'c predicho</b>	<b>TMN modificado</b>
<b>319.094</b>	<b>1/2"</b>

Tabla 32 Influencia del TMN del agregado grueso prueba II

### Prueba I

<b>f'c predicho</b>	<b>TMN real</b>
<b>262.09</b>	<b>3/4"</b>

<b>f'c predicho</b>	<b>TMN modificado</b>
<b>263.147</b>	<b>1/2"</b>

Tabla 33 Influencia del TMN del agregado grueso prueba III

En las pruebas realizadas, se observa que, cuando el TMN del agregado grueso disminuye el f'c del concreto aumenta, para obtener este dato solo se varió el TMN.

## 4.14. Influencia del porcentaje de absorción de los agregados en el f'c del concreto a los 28 días

### 4.14.1. Agregado fino

#### Prueba I

<b>f'c predicho</b>	<b>%ABS AF real</b>
<b>296.99</b>	<b>0.71</b>

<b>f'c predicho</b>	<b>%ABS AF modificado</b>
<b>297.979</b>	<b>1.00</b>
<b>296.985</b>	<b>0.50</b>

Tabla 34 Influencia del %Absorción del agregado fino prueba I

#### Prueba II

<b>f'c predicho</b>	<b>%ABS AF real</b>
<b>318.88</b>	3.20

<b>f'c predicho</b>	<b>%ABS AF modificado</b>
<b>318.886</b>	4.00
<b>318.912</b>	2.80

Tabla 35 Influencia del %Absorción del agregado fino prueba II

### Prueba III

<b>f'c predicho</b>	<b>%ABS AF real</b>
<b>262.09</b>	3.20

<b>f'c predicho</b>	<b>%ABS AF modificado</b>
<b>262.093</b>	4.00
<b>262.131</b>	2.80

Tabla 36 Influencia del %Absorción del agregado fino prueba III

La influencia del porcentaje de absorción del agregado fino (%ABS) en el f'c del concreto no es significativa, como se pudo observar en las pruebas realizadas, a medida que el % ABS aumenta, también lo hace el f'c en el rango del 0.3%, y viceversa.

#### 4.14.2. Agregado grueso

### Prueba I

<b>f'c predicho</b>	<b>%ABS AG real</b>
<b>296.99</b>	1.00

<b>f'c predicho</b>	<b>%ABS AG modificado</b>
<b>296.49</b>	1.50
<b>297.25</b>	0.50

Tabla 37 Influencia del %Absorción del agregado grueso prueba I

### Prueba II

<b>f'c predicho</b>	<b>%ABS AG real</b>
<b>318.88</b>	1.47

<b>f'c predicho</b>	<b>%ABS AG modificado</b>
---------------------	-------------------------------

<b>318.55</b>	2.00
<b>319.48</b>	1.00

Tabla 38 Influencia del %Absorción del agregado grueso prueba II

### Prueba III

<b>f'c predicho</b>	<b>%ABS AG real</b>
<b>262.09</b>	1.47

<b>f'c predicho</b>	<b>%ABS AG modificado</b>
<b>261.77</b>	2.00
<b>262.69</b>	1.00

Tabla 39 Influencia del %Absorción del agregado grueso prueba III

La influencia del porcentaje de absorción del agregado grueso (%ABS) en el f'c del concreto no es significativa, como se pudo observar en las pruebas realizadas, a medida que el % ABS aumenta, disminuye el f'c en el rango del 0.2%, y viceversa.

## 4.15. Influencia de la cantidad de los agregados en el f'c del concreto a los 28 días

### 4.15.1. Agregado fino

#### Prueba I

<b>f'c predicho</b>	<b>Cantidad de AF real (kg)</b>
<b>296.99</b>	837.84

<b>f'c predicho</b>	<b>Cantidad de AF modificado (kg)</b>
<b>266.18</b>	900.00
<b>314.64</b>	800.00

Tabla 40 Influencia de la cantidad del agregado fino prueba I

#### Prueba II

<b>f'c predicho</b>	<b>Cantidad de AF real (kg)</b>
<b>318.88</b>	663.30

<b>f'c predicho</b>	<b>Cantidad de AF modificado (kg)</b>
<b>303.88</b>	700.00
<b>333.81</b>	600.00

Tabla 41 Influencia de la cantidad del agregado fino prueba II

**Prueba III**

<b>f'c predicho</b>	<b>Cantidad de AF real (kg)</b>
<b>262.09</b>	720.06

<b>f'c predicho</b>	<b>Cantidad de AF modificado (kg)</b>
<b>228.47</b>	800.00
<b>291.58</b>	650.00

*Tabla 42 Influencia de la cantidad del agregado fino prueba III*

Se ha observado que la fuerza crítica del concreto disminuye a medida que aumenta la cantidad de agregado fino, pero aumenta la fuerza crítica a medida que disminuye la cantidad de agregado fino. Esto es el resultado del impacto de la cantidad de agregado fino en una mezcla.

**4.15.2. Agregado grueso****Prueba I**

<b>f'c predicho</b>	<b>Cantidad de AG real</b>
<b>296.99</b>	744.81

<b>f'c predicho</b>	<b>Cantidad de AG modificado</b>
<b>289.35</b>	800.00
<b>309.61</b>	650.00

*Tabla 43 Influencia de la cantidad del agregado grueso prueba I*

**Prueba II**

<b>f'c predicho</b>	<b>Cantidad de AG real</b>
<b>318.88</b>	1160.82

<b>f'c predicho</b>	<b>Cantidad de AG modificado</b>
<b>313.44</b>	1200.00
<b>331.72</b>	1050.00

*Tabla 44 Influencia de la cantidad del agregado grueso prueba II*

**Prueba III**

<b>f'c predicho</b>	<b>Cantidad de AG real</b>
<b>262.09</b>	1161.14

<b>f'c predicho</b>	<b>Cantidad de AG modificado</b>
<b>257.86</b>	1200.00
<b>268.90</b>	1100.00

Tabla 45 Influencia de la cantidad del agregado grueso prueba III

Se observa que la influencia de la cantidad de agregado grueso en una mezcla, a mayor cantidad de este disminuye el  $f'c$  del concreto, y a medida que se reduce la cantidad de agregado grueso, el  $f'c$  tiende a aumentar.

#### 4.16. Diseño base de la interfaz



Ilustración 9 Interfaz gráfica

### 5. Discusión

A través del diseño y evaluación de la red neuronal, así como la comparación de distintos optimizadores presentados; Y combinados con la realización de probetas bajo la supervisión del investigador, se ha logrado respaldar y validar la hipótesis inicial. Los resultados obtenidos en este estudio proporcionan pruebas concretas que sustentan la afirmación de que la red neuronal es una herramienta eficaz para predecir con precisión los valores del  $f'c$  del concreto ( $f'c$ ).

El proceso de desarrollo de la red neuronal no solo ha permitido obtener predicciones de  $f'c$  altamente coherentes con los valores reales, sino también ha destacado la importancia de explorar y comparar diversos optimizadores en función de configuraciones específicas de la red. Esta metodología ha revelado claramente que la elección del optimizador puede tener un impacto significativo en el rendimiento del modelo y el tiempo de entrenamiento, en última

instancia, en la calidad de las predicciones. Los resultados subrayan la necesidad de considerar cuidadosamente estos aspectos en futuras investigaciones y aplicaciones prácticas.

La capacidad de la red neuronal para proporcionar predicciones precisas del  $f'c$  del concreto, como se ha demostrado en este estudio, abre perspectivas prometedoras en diversos campos de la ingeniería y la construcción, donde la predicción precisa de este parámetro es esencial.

### **5.1. Ensayos en laboratorio**

De acuerdo con la normativa descrita en el apartado 2.8, se realizaron ensayos a agregados gruesos y finos.

El agregado fino de la cantera Tres Tomas y Pacherrez tiene una granulometría que cumple con las especificaciones planteadas por la normativa, con un módulo de fineza de 2.89 y 2.978, respectivamente, lo que cumple con la recomendación de [21].

De manera similar, los módulos de fineza correspondientes a los agregados gruesos producidos de las mismas canteras se encuentran dentro del rango recomendado por [21], lo que garantiza la calidad e idoneidad de los materiales empleados.

### **5.1. Ensayo del $f'c$ de probetas de concreto**

Las probetas de concreto ensayadas cumplieron con lo establecido en la normativa ASTM C-39. Además, los resultados muestran que las canteras elegidas son ideales para la fabricación de mezclas de concreto.

### **5.2. Comportamiento de la red neuronal**

La red neuronal llegó a predecir el  $f'c$  del concreto con mayor certeza en los rangos de 210 a 325 kg/cm<sup>2</sup> obteniendo un error relativo máximo de 4.78% en el rango mencionado, dichos valores obtenidos son coherentes. Puesto que, otros autores obtuvieron un error relativo similar [12], [13]. Está marcada convergencia en el rango de 210 a 325 kg/cm<sup>2</sup> podría estar vinculada a la distribución del conjunto de datos de entrenamiento, que mayoritariamente se encuentra dentro de este rango. Tal observación subraya la importancia de contar con un conjunto de datos de entrenamiento que sea diversificado y representativo, y que abarque una variedad amplia de valores del  $f'c$ .

Sin embargo, es necesario destacar que, en los valores menores a 210 kg/cm<sup>2</sup> y mayores de 325 kg/cm<sup>2</sup>, las predicciones muestran una mayor disparidad respecto a los valores reales. Tal

discrepancia podría derivar de la insuficiencia de datos de entrenamiento en estas áreas extremas.

### **5.3. Influencia del tipo de cemento en el $f'c$ del concreto**

Como se observa en los resultados, el tipo de cemento influye en la resistencia final a los 28 días, en la comparación de la tabla 38, el cemento tipo I tiene una mayor resistencia final en comparación al tipo MS a los 28 días con una diferencia máxima en las pruebas realizadas de 5.171 kg/cm<sup>2</sup>

### **5.4. Influencia del peso específico del cemento en el $f'c$ del concreto**

En las tablas 39, 40 y 41; Queda demostrado que a medida que el peso específico del cemento aumenta el  $f'c$  también lo hace. Del mismo modo, cuando el peso específico del cemento disminuye, el  $f'c$  del concreto tiende a disminuir. Estos resultados son coherentes con investigaciones previas, como la realizada por [42], que también analizó el efecto de diferentes pesos específicos del cemento en el  $f'c$  del concreto y arrojó resultados similares a los obtenidos en esta investigación.

### **5.5. Influencia de la relación agua – cemento en el $f'c$ del concreto**

En las tablas 42, 43 y 44 se observa que a medida que la relación agua – cemento aumenta el  $f'c$  del concreto disminuye, y cuando disminuye esta relación el  $f'c$  del concreto aumenta, los resultados presentados contrastan con [43], puesto que obtuvo el mismo resultado, para diferentes relaciones de a/c.

### **5.6. Influencia del MF de los agregados en el $f'c$ del concreto**

A medida que el módulo de fineza del agregado fino aumenta, el  $f'c$  del concreto disminuye; Dicho resultado es igual a lo que obtuvo [44]. Por otra parte, cuando aumenta el módulo de fineza del agregado grueso, sucede lo mismo con el  $f'c$  del concreto. Dichos argumentos quedan demostrados en las tablas 45, 46, 47, 48, 49 y 50.

### **5.7. Influencia del peso específico de los agregados en el $f'c$ del concreto**

Durante la investigación, no se encontraron evidencias concluyentes de la influencia directa de los pesos específicos de los agregados. Sin embargo, los resultados generados por la red neuronal sugieren una tendencia interesante: a medida que el peso específico del agregado fino

aumenta, también tiende a aumentar el  $f'c$  del concreto. En contraste, se observa que, en general, un incremento en el peso específico del agregado grueso se asocia con una disminución del  $f'c$  del concreto.

### **5.8. Influencia del TMN del agregado grueso en $f'c$ del concreto**

[45] evaluó la influencia del TMN del agregado grueso para el diseño de mezcla por el método ACI, llegándose a concluir que a medida que el TMN disminuye, el  $f'c$  del concreto aumenta, corroborando lo obtenido por la red neuronal, los valores se presentan en las tablas 57, 58 y 59.

### **5.9. Influencia del porcentaje de absorción de los agregados en el $f'c$ del concreto**

En la evaluación de este parámetro, las tablas 60, 61 y 62 muestran que el porcentaje de absorción del agregado fino tiene un impacto limitado en el factor  $f'c$  del concreto. Se observa que el  $f'c$  tiende a aumentar dentro de un rango del 0.3% a medida que aumenta el porcentaje de absorción.

El porcentaje de absorción del agregado grueso es lo contrario: a medida que este valor aumenta, el  $f'c$  del concreto disminuye en un rango del 0.2%, como se muestra en las tablas 63, 64 y 65.

### **5.10. Influencia de la cantidad de los agregados en el $f'c$ del concreto**

Para el agregado fino las tablas 66, 67 y 68 demuestran que a mayor cantidad de agregado fino y agregado grueso el  $f'c$  del concreto tienen a disminuir.

## **6. Conclusiones**

Se llegó a crear una red neuronal artificial de 19 neuronas de entrada, dos capas ocultas de 8 y 16 neuronas respectivamente y una sola neurona de salida, para predecir el  $f'c$ , con una exactitud mayor al 90% en el rango de 210 a 335 kg/cm<sup>2</sup>.

Se determinó que el tipo de cemento tipo I tiene una mayor resistencia final a los 28 días en comparación al tipo MS.

A mayor relación agua – cemento, el  $f'c$  del concreto disminuye, y viceversa.

El incremento en el peso específico del cemento se asocia con un aumento significativo en la resistencia del concreto, mientras que un menor peso específico del cemento conlleva a una disminución de la resistencia.

La influencia de los módulos de fineza de los agregados en el  $f^c$  del concreto no es significativa, a medida que el MF del agregado fino aumenta, disminuye el  $f^c$  del concreto; Sucede lo contrario con el MF del agregado grueso, cuando aumenta este valor, el  $f^c$  también aumenta.

El  $f^c$  del concreto está fuertemente influenciado por los pesos específicos de los agregados; el  $f^c$  del concreto aumenta con el peso específico de los agregados más finos. Y la  $f^c$  del concreto disminuye con el peso específico del agregado grueso.

A medida que el tamaño máximo nominal del agregado grueso disminuye, el  $f^c$  del concreto aumenta.

La influencia del porcentaje de absorción de los agregados en el  $f^c$  del concreto no es muy significativa.

La presencia de una mayor cantidad de agregado fino y grueso tiende a disminuir la resistencia del concreto.

## **7. Recomendaciones**

Para mejorar la capacidad de la red neuronal en la predicción del  $f^c$  del concreto, se recomienda ampliar el rango de datos disponibles, particularmente en los extremos de baja y alta resistencia, para lograr una modelización más precisa en estas áreas.

La inclusión de datos sobre el tiempo de curado y las condiciones de curado de las probetas de concreto podría proporcionar información adicional valiosa para mejorar la precisión de la predicción.

Explorar más parámetros de cemento, además del peso específico del cemento, investigar otros parámetros del cemento, como la finura, la composición química y las características de fraguado, podría ayudar a comprender mejor su influencia en el  $f^c$  del concreto.

Evaluar la influencia de factores ambientales, como la temperatura durante el curado y la humedad relativa.

Además de los optimizadores utilizados en la red neuronal, explorar otros algoritmos de entrenamiento y técnicas de regularización, como la eliminación de características o ampliación de estas, puede ayudar a mejorar el rendimiento del modelo.

Continuar recopilando datos adicionales de múltiples fuentes y en diferentes ubicaciones geográficas para fortalecer la robustez del modelo y considerar posibles variaciones regionales.

Realizar una validación externa del modelo utilizando datos de probetas de concreto de otras fuentes o regiones para evaluar su aplicabilidad en diferentes contextos.

Promover el uso de protocolos de prueba de laboratorio estandarizados y documentados para garantizar la consistencia en la recopilación de datos y mejorar la comparabilidad entre estudios.

Realizar un seguimiento a largo plazo de las predicciones de la red neuronal en comparación con los valores reales del  $f^c$  para evaluar su rendimiento continuo y realizar ajustes según sea necesario.

## 8. Referencias

- [1] D.Sánchez de Guzmán “Tecnología del concreto y del mortero”. Bhandar Editores, Bogotá, 2000 – 349p
- [2] MEHTA, P. K. & MONTEIRO, P. J. M. “Artificial neural network to predict the compressive strength, in polypropylene fiber-reinforced concrete”Concrete: Microstructure, Properties and Materials. ed. Black lick (USA): McGraw-Hill, 659p, 2006. ISBN: 978-0071462891
- [3] Faeze Khademi, Sayed Mohammadmehdi Jamal, et al “Predicting strength of recycled aggregate concrete using Artificial Neural Network”, Volume 5, Issue 2, 2016, Pg 355-369, ISSN 2212-6090.
- [4] C.P,Ponce “Inteligencia artificial con aplicaciones a la ingeniería”. Alfaomega, México, 2010.
- [5] J.A., López y E, Caicedo “Una aproximación práctica a las redes neuronales artificiales”. Conferencias. Curso de Redes Neuronales Artificiales, Universidad del Valle, Cali, Colombia. 2006.
- [6] Yoon, J.Y., Kim, H., Lee, Y.-J., & Sim, S.-H. “Prediction Model for Mechanical Properties of Lightweight Aggregate Concrete Using Artificial Neural Network”. Materials (Basel), 12(17), 2019, E2678.
- [7] Z.M., Yaseen, R.C. Deo, A., Hilal, M.A.,Abd, Cornejo Bueno, L., Salcedo-Sanz, S., & Nehdi, M.L. “Predicting compressive strength of lightweight foamed concrete using extreme learning machine model”. Advances in Engineering Software, 115, 112-125, 2018.
- [8] Mr. Arshad Quraishi<sup>1</sup>, Mr. N.K. Dhapekar, “Applicability of Python in Civil Engineering: Review” pg 554 – 556, ISO 9001:2008 Certified Journal, Jan 2021.
- [9] D. Nagarajan, T. Rajagopal, and N. Meyappan, “A comparative study on prediction models for strength properties of LWA concrete using artificial neural network”, RDLC, vol. 19, no. 1, pp. 103–111, Apr. 2020.
- [10] C. Ngandu, “Prediction of Compressive Strengths of Concrete with Partial Fine Aggregate of Plastic Using Artificial Neural Network and Revisions”, ITECKNE, vol. 19, no. 1, pp. 61-68, Jan. 2022.
- [11] Tavakoli, Hamid Reza et al. Prediction of combined effects of fibers and nanosilica on the mechanical properties of self-compacting concrete using artificial neural network. Latin American Journal of Solids and Structures [online]. 2014, v. 11, n. 11 [Accessed 12 November

2022], pp. 1906-1923. Available from: <<https://doi.org/10.1590/S1679-78252014001100002>>. Epub 08 Dec 2014. ISSN 1679-7825. <https://doi.org/10.1590/S1679-78252014001100002>.

[12] Gonzales Gaspar, C “Análisis de la resistencia el concreto mediante redes neuronales haciendo uso del agregado de la cantera santa rosa Huancavelica”, Universidad Nacional De Huancavelica, Huancavelica, 2018.

[13] S.G., Angie Jesús, B.N, Jonathan Martín “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”, 2021.

[14] F., Abanto, “Tecnología del Concreto” Editorial San Marcos E.I.R.L, Lima, 2009

[15] Steven H. Kosmatka, & B. Kerkhoff, “Diseño y Control de Mezclas de Concreto” Illinois, 2004.

[16] Ecu Red. (s.f.). Ecu Red.: <https://www.ecured.cu/Cemento>

[17] Gónzales, L, “Librerías de Machine Learning con Python”, 2018

[18] Rivva López, E. “Materiales para el Concreto. Instituto de la Construcción y Gerencia - ICG”, 2014.

[19] Agurto, Pierre Emil “Obtenido de Uso de la cascaría quemada de arroz como aditivo puzolanico para el cemento”, 2010 : <http://cip-trujillo.org/ovcipcdll/uploads/biblioteca/abstract/T0031122.pdf>

[20] M.Díaz Tello.“Uso de las redes neuronales artificiales en el modelado del ensayo de resistencia a compresión de concreto de construcción según la norma ASTM C39/C 39M”, 2017,obtenido de Repositorio UNC :<http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/1020?show=full>

[21]R.Paredes,C. Agregados para el Concreto

[22] L. O, González Salcedo, Guerrero Zúñiga, A. P., Delvasto Arjona, S., & Ernesto Will, A. L. (s.f). “ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE TENACIDAD FLEXURAL I5 EN CONCRETOS”. Obtenido de Aprender en Línea: <https://aprendeonline.udea.edu.co/revistas/index.php/materiales/article/viewFile/19252/16538>

[23] K. E, Sánchez Zárate “Aditivo Superplastificante y su influencia en la consistencia y desarrollo de resistencias de concreto para F" c 175, 210, 245 kg/cm<sup>2</sup>”. Universidad Continental, Huancayo, 2017

[24] Y, Saccaco “Agregados”, 2015

- [25] L. Acuña, V. A. Torre, I. Moromi, & García, F, "Uso de las Redes Neuronales Artificiales en el Modelado del Ensayo de Resistencia a Compresión de Concreto de Construcción según la Norma ASTM C39/C 39M", diciembre de 2018.
- [26] I. Goodfellow, Y. Bengio, and A. Courville, "Deep Learning," MIT, 2016.
- [27] H.R. Tavakoli et al. / Prediction of combined effects of fibers and nano-silica on the mechanical properties of concrete using RNA
- [28] Hernandez, Fernandez, & Baptista. *Metodología de la investigación*. Mexico: McGraw Hill, 2010.
- [29] Hernandez, Fernandez, & Baptista. *Metodología de la investigación*. Mexico: McGraw Hill, 2011.
- [30] Norma E.060: Concreto Armado, Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento. 2009
- [31] F.N. Ferrer – "Modelos predictivos de las características prestacionales de hormigones fabricados en condiciones industriales", 2016. <http://hdl.handle.net/10251/67272>
- [32] Abadi, M. et al, TensorFlow: Large-scale machine learning on heterogeneous systems, 2015. Software available from tensorflow.org. DOI: 10.5281/zenodo.7764425
- [33] D. P. Kingma and J. Ba, "Adam: A Method for Stochastic Optimization", 2017. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1412.6980>
- [34] T. Tieleman and G. Hinton. Lecture 6.5 - RMSprop: Divide the gradient by a running average of its recent magnitude, 2012.
- [35] T. Dozat, "Incorporating Nesterov Momentum into Adam", 2016.
- [36] N.T.P. 400.012:2013 Análisis granulométrico del agregado fino y agregado grueso.
- [37] N.T.P. 400.022:2013 Peso específico y absorción del agregado fino.
- [38] N.T.P. 400.021:2013 Peso específico y absorción del agregado grueso.
- [39] N.T.P. 339.185:2013 Método de ensayo normalizado para contenido de humedad evaporable de agregados por secado.
- [40] N.T.P. 400.017:2011 Peso unitario y vacíos en los agregados.
- [41] N.T.P. 339.034:2015 Método de ensayo normalizado para la determinación del  $f'c$  del concreto, en muestras cilíndricas.
- [42] V. Obando-Angulo, "Valor del peso específico del cemento para diseño de concretos," Revista Tecnología en Marcha, 2023/10/02, doi: 10.18845/tm.v36i4.6311.
- [43] Guevara Fallas, G., Hidalgo Madrigal, C., Pizarro García, M., Rodríguez Valenciano, I., Rojas Vega, L. D., & Segura Guzmán, G. (2012). "Efecto de la variación agua/cemento en el concreto." Tecnología en Marcha, 25(2), 80-86. ISSN 0379-3962, ISSN-e 2215-3241.

[44] A. Q. H. Martín, "Influencia del porcentaje de agregado fino y módulo de finura sobre el  $f^c$  y absorción en morteros para la construcción," 2015.

[45] P. E. Taico Lezama, "Influencia del tamaño máximo nominal del agregado grueso en la resistencia y costo del concreto, teniendo en cuenta 3 métodos de diseño de mezclas," 2020.

## 9. Anexos

### 9.1. Aplicación numérica

Conversión de Grados Kelvin (K) a Fahrenheit (F)

La fórmula conocida para convertir de K a F es:

$$F = \frac{9}{5}x(K - 273.15) + 32$$

Se construirá una red neuronal simple que pueda aprender esta conversión, entregándole datos de entrada en grados K y datos de salida en F.

La red neuronal planteada para la aplicación consta de 1 neurona de entrada, 5 neuronas en la capa oculta y 1 neurona de salida.

#### Propagación hacia adelante (Forward Propagation)

Para una entrada de K:

En la capa oculta se aplican pesos ( $W_1$ ) y bias ( $b_1$ ) en la entrada:

$$Z_1 = W_1 \cdot K + b_1$$

Luego se aplica la función de activación ReLU:

$$A_1 = ReLU(Z_1)$$

Donde  $Z_1$  es el valor ponderado y  $A_1$  es la salida de la capa oculta después de aplicar ReLU.

En la capa de Salida; Se aplican pesos ( $W_2$ ) y bias ( $b_2$ ) al valor obtenido de la capa oculta  $A_1$ .

$$Z_2 = W_2 \cdot A_1 + b_2$$

Para la capa de salida se utiliza una activación lineal.

$$F = Z_2$$

#### Función de Pérdida

Usamos el error cuadrático medio (MSE) para calcular la diferencia entre las predicciones de la red y los valores reales:

$$MSE = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n (F_i - F_{pred i})^2$$

#### Optimización con Adam

$$mt = 0(\text{momento}_0)$$

$$vt = 0(\text{momento}_0)$$

$$t = 0(t_0)$$

Los vectores  $mt$  y  $vt$  almacenan el primer (media) y segundo (varianza) momento

Por cada iteración el valor de  $t$ :

$$t = t + 1$$

Gradiente de la función de pérdida  $L(\theta)$  respecto a los parámetros  $\theta$ :

$$g_t = \nabla_{\theta} L(\theta_{t-1})$$

Primera estimación del momento (media del gradiente):

$$m_t = \beta_1 \cdot m_{t-1} + (1 - \beta_1) \cdot g_t$$

Segunda estimación del momento (varianza del gradiente):

$$v_t = \beta_2 \cdot v_{t-1} + (1 - \beta_2) \cdot g_t^2$$

Corrección de sesgo para el primer y segundo momento:

$$\widehat{m}_t = \frac{m_t}{1 - \beta_1^t}$$

$$\widehat{v}_t = \frac{v_t}{1 - \beta_2^t}$$

Finalmente se actualiza los parámetros

$$\theta_t = \theta_{t-1} - \eta \cdot \frac{\widehat{m}_t}{\sqrt{\widehat{v}_t} + \epsilon}$$

Donde:

$\beta_1$  y  $\beta_2$  son los factores de decaimiento exponencial para los momentos.

$\epsilon$  es un valor pequeño para evitar la división por cero.

$\eta$  es la tasa de aprendizaje.

```

1 import keras.layers
2 import numpy as np
3 import keras
4
5 kelvin = np.array([339, 290, 390, 440, 210, 125, 190, 225, 240, 255,
6                   300, 350, 400, 412, 500, 520, 480, 390],
7                   dtype = float)
8 fahrenheit = (9/5) * (kelvin - 273.15) + 32
9
10 # Crear el modelo
11 model = keras.Sequential()
12 model.add(keras.layers.Dense(5, input_dim=1, activation='relu'))
13 model.add(keras.layers.Dense(1))
14
15 # Compilar con el el modelo con el optimizador Adam y entrenar
16 model.compile(optimizer='Adam', loss='mean_squared_error')
17 model.fit(kelvin, fahrenheit, epochs=2000, verbose=1)
18
19 # Predicciones
20 kelvin_test = np.array([273.15, 300, 350])
21 fahrenheit_pred = model.predict(kelvin_test)
22
23 print("Valores en Kelvin:", kelvin_test)
24 print(fahrenheit)
25 print("Valores predichos en Fahrenheit:", fahrenheit_pred)

```

*Código Python*

## 9.2. Panel fotográfico

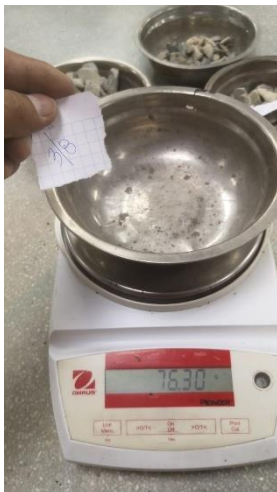
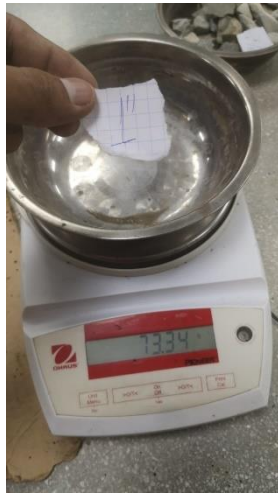
Procedimiento para el análisis granulométrico del agregado fino

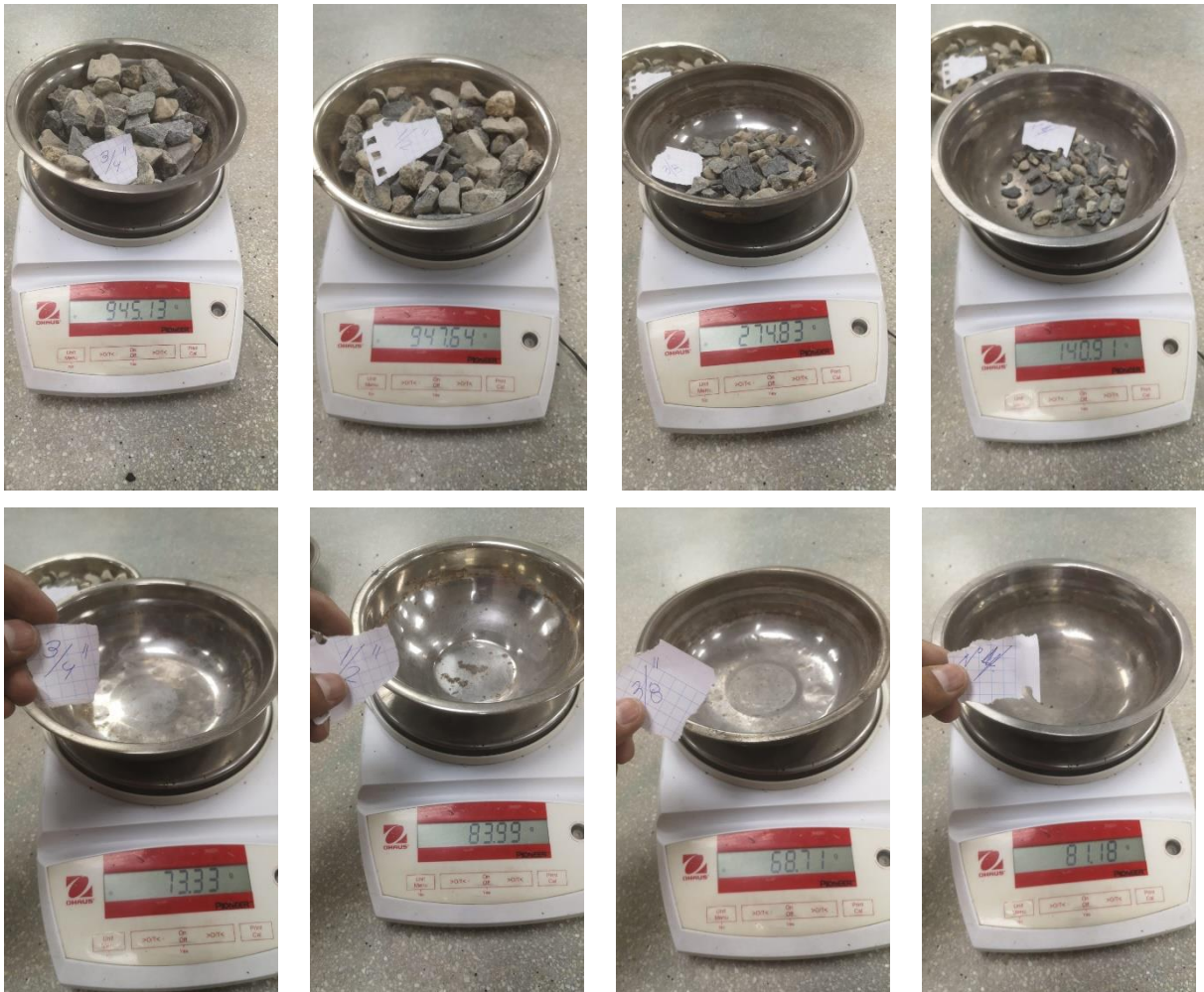




Procedimiento para el análisis granulométrico del agregado grueso







- PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO DE TMN 3/4"1/2"





Muestra I



Muestra II



PUS Y PUCS DE LOS AGREGADOS







Para el cálculo del peso específico















INFORME N° LEM USAT 025-2023-II

FECHA: 27 de octubre 2023

## VALIDACIÓN DE ENSAYOS DE LABORATORIO

**ESTUDIANTE:** BERNILLA RODRIGUEZ DAVID HENRY

**TITULO DE LA TESIS:** PREDICCIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO USANDO REDES NEURONALES ARTIFICIALES

El que suscribe, responsable del laboratorio de Ingeniería Civil Ambiental, verifica y da conformidad que los siguientes ensayos de laboratorio realizados por el indicado estudiante se han efectuado en las instalaciones de la USAT, asimismo valida los ensayos realizados fuera de nuestras instalaciones siempre que no se puedan realizar en esta universidad:

- Granulometría
- Peso específico
- Absorción
- Contenido de humedad
- Peso unitario suelto seco
- Peso unitario compactado seco
- Compresión simple de probetas de concreto

Se alcanza al interesado para los fines pertinentes.

Observación: Adjunto

Henry Rivadeneyra Oblitas  
Responsable de Lab Ing. Civil Ambiental



Rivadeneyra Oblitas  
TÉCNICO DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES

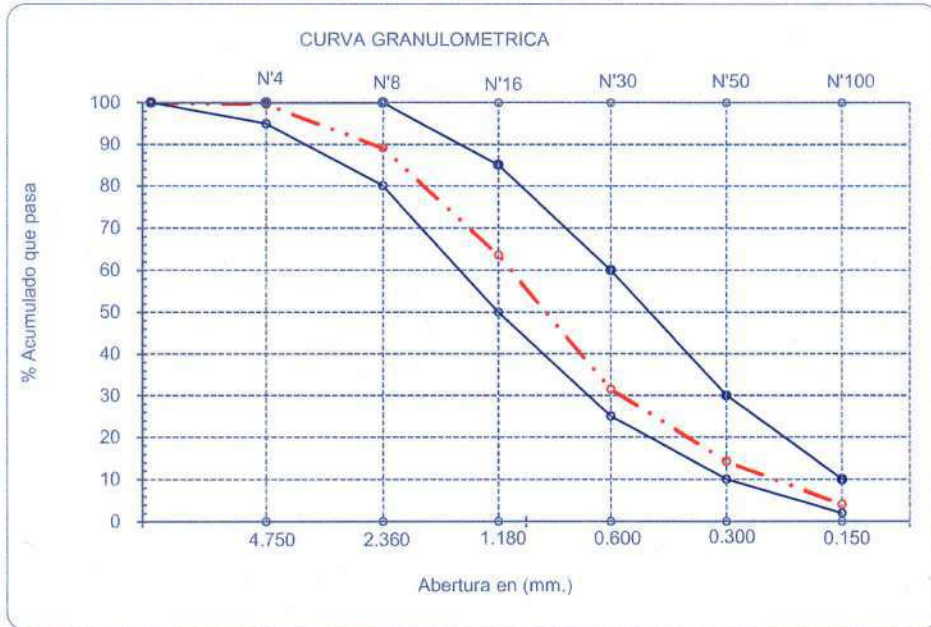


**Tesista** : Bernilla Rodriguez David Henry  
**Escuela** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Predicción de la resistencia a la compresión del concreto usando redes neuronales artificiales  
**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 27 de Octubre del 2023

Ensayo : Análisis granulométrico por tamizado del agregado fino  
Referencia : Norma ASTM C-136 ó N.T.P. 400.012

**Cantera** : Arena amarilla - Pacherez **P. Inicial H.** 504.8 **% de Humedad =** 0.95 **Modulo de Fineza:**  
**P. Inicial S.** 500.0 **Humedad =** 0.95 **Fineza:** 2.98

Malla		Peso Ret.	(% Ret.)	(% Acum. Ret.)	(% Acum. Que Pasa)	Especificaciones:	
Pulg.	(mm.)					100	100
1/2"	12.700	0	0.0	0.0	100.0	100	100
3/8"	9.500	0	0.0	0.0	100.0	100	100
Nº 04	4.750	2	0.4	0.4	99.6	95	100
Nº 08	2.360	52.5	10.5	10.9	89.1	80	100
Nº 16	1.180	127.5	25.5	36.4	63.6	50	85
Nº 30	0.600	160.5	32.1	68.5	31.5	25	60
Nº 50	0.300	86	17.2	85.7	14.3	10	30
Nº 100	0.150	51.0	10.2	95.9	4.1	2	10
Fondo		20.5	4.1	100.0	0.0		
<b>Módulo de Fineza</b>				2.978			
<b>Abertura de malla de referencia</b>				9.500			



*[Handwritten Signature]*  
**Rivarolero Jblitas Henry**  
**TÉCNICO DE LABORATORIO**





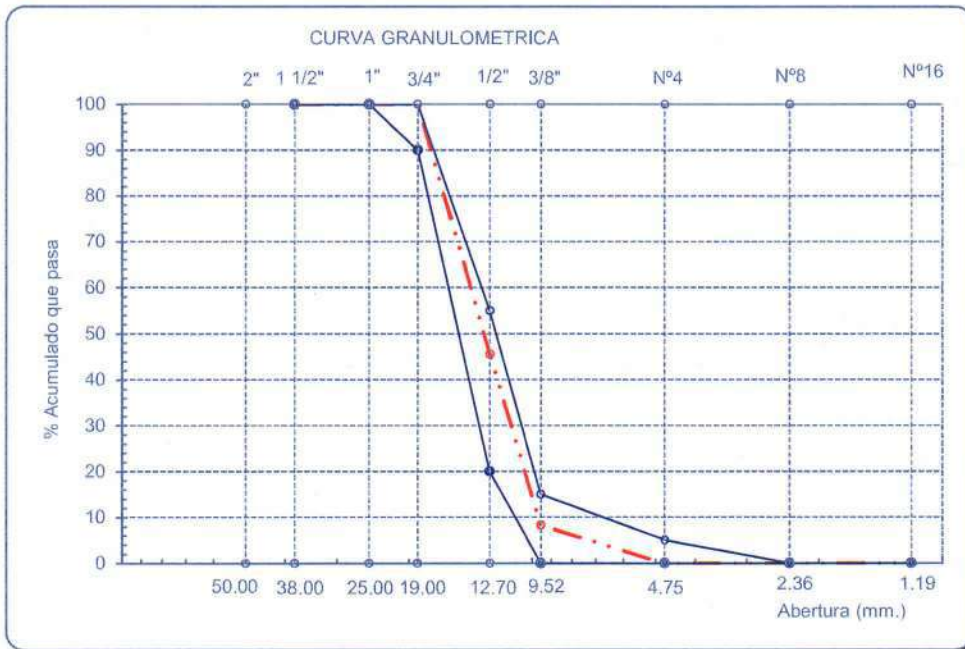
UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES



**Tesista** : Bernilla Rodriguez David Henry  
**Escuela** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Predicción de la resistencia a la compresión del concreto usando redes neuronales artificiales  
**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 27 de Octubre del 2023  
**Ensayo** : Análisis granulométrico por tamizado del agregado grueso  
**Referencia** : Norma ASTM C-136 & N.T.P. 400.012

**Cantera** : Piedra Chancada - Pacherez  
**P. Inicial H.** 1813.8 **% de Humedad =** 0.77  
**P. Inicial S.** 1800

Malla		Peso Ret.	(% Ret.)	(% Acum. Ret.)	(% Acum. Que Pasa)	Especificaciones USO 6	
Pulg.	(mm.)						
2"	50.00	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
1 1/2"	38.00	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
1"	25.00	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
3/4"	19.00	0.0	0.0	0.0	100.0	90.0	100.0
1/2"	12.70	978.3	54.4	54.4	45.6	20.0	55.0
3/8"	9.52	672.1	37.3	91.7	8.3	0.0	15.0
Nº 04	4.75	149.5	8.3	100.0	0.0	0.0	5.0
Nº 08	2.36	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
Nº 16	1.19	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
Fondo		0	0.0	100.0	0.0		
Tamaño Maximo			3/4"	38.00			
Tamaño Maximo Nominal			1/2"	25.00			



*Rivendeyra Oblitas Henry*  
TÉCNICO DE LABORATORIO





**Tesista** : Bernilla Rodriguez David Henry  
**Escuela** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Predicción de la resistencia a la compresión del concreto usando redes neuronales artificiales  
**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 27 de Octubre del 2023

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

**Cantera** : Arena amarilla - Pacherez

**1.- PESO UNITARIO SUELTO**

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	<b>8788</b>	<b>8779</b>
2.- Peso del recipiente	(gr.)	0.0	0.0
3.- Peso del material		8788	8779
4.- Constante ó Volumen	(m <sup>3</sup> )	0.00530	0.00530
5.- Peso unitario suelto húmedo	(kg/m <sup>3</sup> )	1658	1656
6.- Peso unitario suelto seco (Promedio)	(kg/m <sup>3</sup> )	<b>1641</b>	

**2.- PESO UNITARIO COMPACTADO**

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	<b>10035</b>	<b>10059</b>
2.- Peso del recipiente	(gr.)	0.0	0.0
3.- Peso del material		10035	10059
4.- Constante ó Volumen	(m <sup>3</sup> )	0.00530	0.00530
5.- Peso unitario compactado húmedo	(kg/m <sup>3</sup> )	1893	1897
6.- Peso unitario compactado seco (Promedio)	(kg/m <sup>3</sup> )	<b>1877</b>	

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

**C.- CONTENIDO DE HUMEDAD**

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	<b>504.75</b>	<b>504.75</b>
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	<b>500</b>	<b>500</b>
C.- Peso de recipiente	(gr.)	0.0	0.0
D.- Contenido de humedad	(%)	1.0	1.0
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	<b>0.95</b>	

  
Rivaldeiro Jolitas Henry  
TÉCNICO DE LABORATORIO





**Tesista** : Bernilla Rodriguez David Henry  
**Solicitante** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Predicción de la resistencia a la compresión del concreto usando redes neuronales artificiales

**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.

**Fecha de emisión** : Chiclayo, 27 de Octubre del 2023

**Ensayo** : Peso unitario del agregado grueso

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

Cantera : Piedra Chancada - Pacherez

**A.- PESO UNITARIO SUELTO**

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	<b>7941</b>	<b>7952</b>
2.- Peso del recipiente	(gr.)	0.0	0.0
3.- Peso del material		7941	7952
4.- Constante ó Volumen	(m <sup>3</sup> )	0.00530	0.00530
5.- Peso unitario suelto húmedo	(kg/m <sup>3</sup> )	1498	1500
6.- Peso unitario suelto seco (Promedio)	(kg/m <sup>3</sup> )	<b>1488</b>	

**B.- PESO UNITARIO COMPACTADO**

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	<b>8262</b>	<b>8278</b>
2.- Peso del recipiente	(gr.)	0.0	0.0
3.- Peso del material		8262.0	8278.0
4.- Constante ó Volumen	(m <sup>3</sup> )	0.00530	0.00530
5.- Peso unitario compactado húmedo	(kg/m <sup>3</sup> )	1558	1561
6.- Peso unitario compactado seco (Promedio)	(kg/m <sup>3</sup> )	<b>1548</b>	

**Ensayo** : Contenido de humedad del agregado grueso

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

**C.- CONTENIDO DE HUMEDAD**

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	<b>1813.8</b>	<b>1813.8</b>
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	<b>1800</b>	<b>1800</b>
C.- Peso de recipiente	(gr.)	0.0	0
D.- Contenido de humedad	(%)	0.8	0.8
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	<b>0.77</b>	

  
David Henry Bernilla  
TÉCNICO DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES



**Tesista** : Bernilla Rodriguez David Henry  
**Solicitante** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Predicción de la resistencia a la compresión del concreto usando redes neuronales artificiales

**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 27 de Octubre del 2023

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

Cantera : Arena amarilla - Pacherez

**I.- Datos.**

1.- Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco + P <sub>i</sub>	(g)	<b>980.0</b>	<b>988.3</b>
2.- Pes <sub>i</sub> Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco	(g)	670.13	713.37
3.- Peso del Agua	(g)	309.87	274.93
4.- Peso de la Arena Secada al Horno + Peso del Frasc	(g)	661.63	707.57
5.- Peso del Frasco	(g)	<b>170.13</b>	<b>213.37</b>
6.- Peso de la Arena Secada al Horno	(g)	<b>492</b>	<b>494</b>
7.- Volumen del frasco	(g)	500	500

**II.- Resultados**

A.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm <sup>3</sup> )	<b>2.374</b>
B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm <sup>3</sup> )	2.408
C.- PESO ESPESIFICO APARENTE	(g/cm <sup>3</sup> )	2.459
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	<b>1.45</b>

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

Cantera : Piedra Chancada - Pacherez

**I.- Datos.**

1.- Peso de la muestra secada al horno	(g)	<b>1890</b>	<b>2003</b>
2.- Peso de la muestra superficialmente seca	(g)	<b>1903</b>	<b>2032</b>
3.- Peso de la muestra dentro del agua + peso del car	(g)	<b>2171</b>	<b>2189</b>
4.- Peso de la canastilla	(g)	<b>1044</b>	<b>1044</b>
5.- Peso de la muestra saturada dentro del agua	(g)	1127	1145

**II.- Resultados**

A.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm <sup>3</sup> )	<b>2.341</b>
B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm <sup>3</sup> )	2.367
C.- PESO ESPESIFICO APARENTE	(g/cm <sup>3</sup> )	2.402
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	<b>1.08</b>

David Henry Bernilla  
TÉCNICO DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES



**Tesista** : Bernilla Rodriguez David Henry  
**Solicitante** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Predicción de la resistencia a la compresión del concreto usando redes neuronales artificiales

**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.

**Fecha de emisión** : Chiclayo, 27 de Octubre del 2023

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

Cantera : Arena amarilla - Pacherez

I.- Datos

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	<b>500</b>	<b>500</b>
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	<b>495.3</b>	<b>495.3</b>
C.- Peso de recipiente	(gr.)	0.0	0
D.- Contenido de humedad	(%)	0.95	0.95
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	<b>0.95</b>	

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

Cantera : Piedra Chancada - Pacherez

I.- Datos

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	<b>2000</b>	<b>2000</b>
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	<b>1984.8</b>	<b>1984.8</b>
C.- Peso de recipiente	(gr.)	0.0	0
D.- Contenido de humedad	(%)	0.8	0.8
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	<b>0.77</b>	



*[Handwritten Signature]*  
David Henry Bernilla  
TÉCNICO DE LABORATORIO



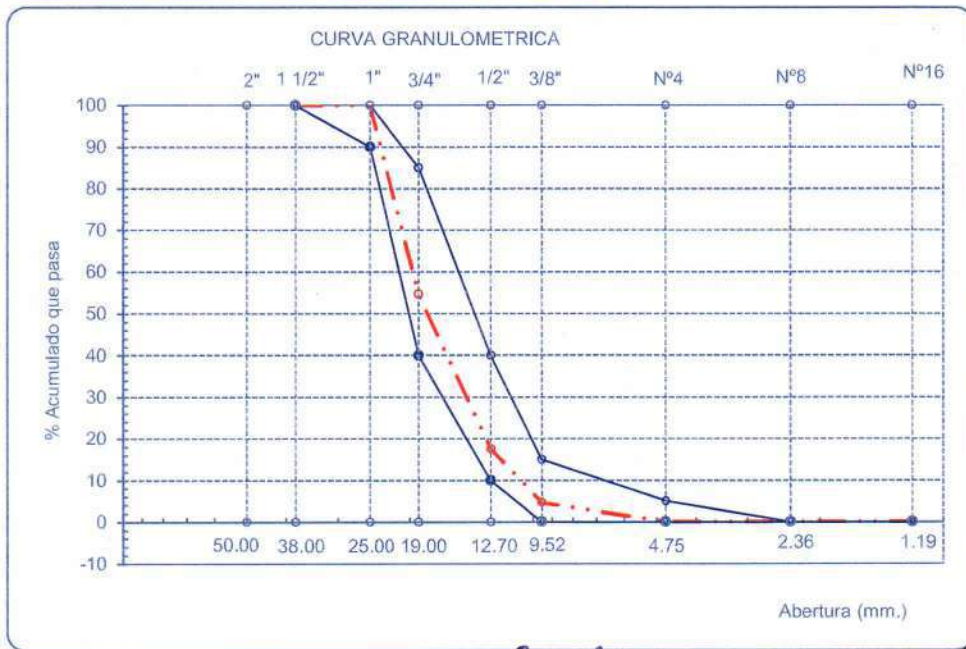
UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES



**Tesista** : Bernilla Rodriguez David Henry  
**Escuela** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Predicción de la resistencia a la compresión del concreto usando redes neuronales artificiales  
**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 27 de Octubre del 2023  
**Ensayo** : Análisis granulométrico por tamizado del agregado grueso  
**Referencia** : Norma ASTM C-136 6 N.T.P. 400.012

**Cantera** : Piedra Chancada - Pacherez  
**P. Inicial H.** 2012 **% de Humedad =** 0.60  
**P. Inicial S.** 2000

Malla		Peso Ret.	(% Ret.)	(% Acum. Ret.)	(% Acum. Que Pasa)	Especificaciones USO 56	
Pulg.	(mm.)						
2"	50.00	0.0	0.0	0.0	100.0		
1 1/2"	38.00	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
1"	25.00	0.0	0.0	0.0	100.0	90.0	100.0
3/4"	19.00	905.2	45.3	45.3	54.7	40.0	85.0
1/2"	12.70	743.7	37.2	82.4	17.6	10.0	40.0
3/8"	9.52	257.4	12.9	95.3	4.7	0.0	15.0
Nº 04	4.75	93.9	4.7	100.0	0.0	0.0	5.0
Nº 08	2.36	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
Nº 16	1.19	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
<b>Fondo</b>		0	0.0	100.0	0.0		
<b>Tamaño Maximo</b>			1"	38.00			
<b>Tamaño Maximo Nominal</b>			3/4"	25.00			



*[Signature]*  
 David Henry Bernilla Rodriguez  
 TÉCNICO DE LABORATORIO





**Tesista** : Bernilla Rodriguez David Henry  
**Solicitante** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Predicción de la resistencia a la compresión del concreto usando redes neuronales artificiales

**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.

**Fecha de emisión** : Chiclayo, 27 de Octubre del 2023

**Ensayo** : Peso unitario del agregado grueso

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

**Cantera** : Piedra Chancada - Pacherez

#### A.- PESO UNITARIO SUELTO

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	<b>7914</b>	<b>7932</b>
2.- Peso del recipiente	(gr.)	0.0	0.0
3.- Peso del material		7914	7932
4.- Constante ó Volumen	(m <sup>3</sup> )	0.00530	0.00530
5.- Peso unitario suelto húmedo	(kg/m <sup>3</sup> )	1493	1496
6.- Peso unitario suelto seco (Promedio)	(kg/m <sup>3</sup> )	<b>1486</b>	

#### B.- PESO UNITARIO COMPACTADO

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	<b>8205</b>	<b>8219</b>
2.- Peso del recipiente	(gr.)	0.0	0.0
3.- Peso del material		8205.0	8219.0
4.- Constante ó Volumen	(m <sup>3</sup> )	0.00530	0.00530
5.- Peso unitario compactado húmedo	(kg/m <sup>3</sup> )	1548	1550
6.- Peso unitario compactado seco (Promedio)	(kg/m <sup>3</sup> )	<b>1540</b>	

**Ensayo** : Contenido de humedad del agregado grueso

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

#### C.- CONTENIDO DE HUMEDAD

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	<b>2012</b>	<b>2012</b>
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	<b>2000</b>	<b>2000</b>
C.- Peso de recipiente	(gr.)	0.0	0
D.- Contenido de humedad	(%)	0.6	0.6
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	<b>0.60</b>	

  
David Henry Bernilla Henry  
TÉCNICO DE LABORATORIO





**Tesista** : Bernilla Rodriguez David Henry  
**Solicitante** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Predicción de la resistencia a la compresión del concreto usando redes neuronales artificiales

**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 27 de Octubre del 2023

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

Cantera : Arena amarilla - Pacherez

### I.- Datos.

1.- Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco + P <sub>i</sub>	(g)	<b>980.0</b>	<b>988.3</b>
2.- Pes <sub>i</sub> Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco	(g)	670.13	713.37
3.- Peso del Agua	(g)	309.87	274.93
4.- Peso de la Arena Secada al Horno + Peso del Frasc	(g)	661.63	707.57
5.- Peso del Frasco	(g)	<b>170.13</b>	<b>213.37</b>
6.- Peso de la Arena Secada al Horno	(g)	<b>492</b>	<b>494</b>
7.- Volumen del frasco	(g)	500	500

### II.- Resultados

A.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm <sup>3</sup> )	<b>2.374</b>
B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm <sup>3</sup> )	2.408
C.- PESO ESPESIFICO APARENTE	(g/cm <sup>3</sup> )	2.459
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	<b>1.45</b>

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

Cantera : Piedra Chancada - Pacherez

### I.- Datos.

1.- Peso de la muestra secada al horno	(g)	<b>1890</b>	<b>1963</b>
2.- Peso de la muestra superficialmente seca	(g)	<b>1903</b>	<b>1977</b>
3.- Peso de la muestra dentro del agua + peso del car	(g)	<b>2201</b>	<b>2218</b>
4.- Peso de la canastilla	(g)	<b>1044</b>	<b>1044</b>
5.- Peso de la muestra saturada dentro del agua	(g)	1157	1174

### II.- Resultados

A.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm <sup>3</sup> )	<b>2.488</b>
B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm <sup>3</sup> )	2.505
C.- PESO ESPESIFICO APARENTE	(g/cm <sup>3</sup> )	2.532
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	<b>0.70</b>

David Henry Bernilla  
TÉCNICO DE LABORATORIO





**Tesista** : Bernilla Rodriguez David Henry  
**Solicitante** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Predicción de la resistencia a la compresión del concreto usando redes neuronales artificiales

**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.

**Fecha de emisión** : Chiclayo, 27 de Octubre del 2023

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

Cantera : Arena amarilla - Pacherez

I.- Datos

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	<b>500</b>	<b>500</b>
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	<b>495.3</b>	<b>495.3</b>
C.- Peso de recipiente	(gr.)	0.0	0
D.- Contenido de humedad	(%)	0.95	0.95
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	<b>0.95</b>	

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

Cantera : Piedra Chancada - Pacherez

I.- Datos

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	<b>2000</b>	<b>2000</b>
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	<b>1988.1</b>	<b>1988.1</b>
C.- Peso de recipiente	(gr.)	0.0	0
D.- Contenido de humedad	(%)	0.6	0.6
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	<b>0.60</b>	

  
RIVERA PACHEZ, DAVID HENRY  
TÉCNICO DE LABORATORIO







Expediente N° : LEM USAT 025-2023-II  
 Peticionario : Bernilla Rodríguez David Henry  
 Tesis : Predicción de la resistencia a la compresión del concreto usando redes neuronales artificiales  
 Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
 Fecha de emisión : Chiclayo, 27 de Octubre del 2023

DISEÑO DE MEZCLA FINAL

F'c = 175 kg/cm<sup>2</sup>

Resultados del diseño de mezcla :

Porcentaje promedio a los 28 días : 110.86 %  
 Factor cemento por M<sup>3</sup> de concreto : 8.1 bolsas/m<sup>3</sup>  
 Relación agua cemento de diseño : 0.629

Cantidad de materiales por metro cúbico :

Cemento	343 Kg/m <sup>3</sup>	Tipo I
Agua	222 L	:
Agregado fino	524 Kg/m <sup>3</sup>	: Arena amarilla - Pacherrez
Agregado grueso	1017 Kg/m <sup>3</sup>	: Piedra Chancada - Pacherrez

	Cemento	Arena	Piedra	Agua	
Proporción en peso :	1.00	1.53	2.96	27.46	Lts/pie <sup>3</sup>
Proporción en volumen :	1.00	1.40	2.99	27.46	Lts/pie <sup>3</sup>

  
 David Henry Bernilla Rodríguez  
 TÉCNICO DE LABORATORIO

  
 TÉCNICO DE LABORATORIO



**Tesista** : Bernilla Rodríguez David Henry  
**Solicitante** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Predicción de la resistencia a la compresión del concreto usando redes neuronales artificiales  
**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 27 de Octubre del 2023

**DISEÑO DE MEZCLA FINAL**

**F'c = 175 kg/cm<sup>2</sup>**

**CEMENTO:**

- 1.- Tipo de cemento : Tipo I
- 2.- Peso específico : 3150 Kg/m<sup>3</sup>

**AGREGADOS :**

Agregado fino :

- Cantera : Arena amarilla - Pacherez
- 1.- Peso específico de masa : 2.374 gr/cm<sup>3</sup>
  - 2.- Peso específico de masa S.S.S. : 2.4085 gr/cm<sup>3</sup>
  - 3.- Peso unitario suelto : 1641 Kg/m<sup>3</sup>
  - 4.- Peso unitario compactado : 1877 Kg/m<sup>3</sup>
  - 5.- % de absorción : 1.5 %
  - 6.- Contenido de humedad : 0.9 %
  - 7.- Módulo de finiza : 2.978

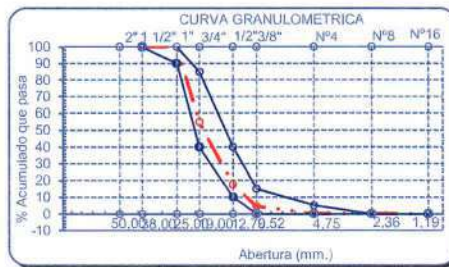
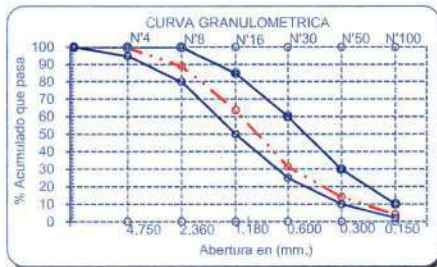
Agregado grueso :

- Cantera : Piedra Chancada - Pacherez
- 1.- Peso específico de masa : 2.488 gr/cm<sup>3</sup>
  - 2.- Peso específico de masa S.S.S. : 2.505 gr/cm<sup>3</sup>
  - 3.- Peso unitario suelto : 1486 Kg/m<sup>3</sup>
  - 4.- Peso unitario compactado : 1540 Kg/m<sup>3</sup>
  - 5.- % de absorción : 0.7 %
  - 6.- Contenido de humedad : 0.6 %
  - 7.- Tamaño máximo : 1" Pulg.
  - 8.- Tamaño máximo nominal : 3/4" Pulg.

**Granulometría :**

Malla	% Retenido	% Acumulado que pasa
3/8"	0.0	100.0
N° 04	0.4	99.6
N° 08	10.5	89.1
N° 16	25.5	63.6
N° 30	32.1	31.5
N° 50	17.2	14.3
N° 100	10.2	4.1
Fondo	4.1	0.0

Malla	% Retenido	% Acumulado que pasa
2"	0.0	100.0
1 1/2"	0.0	100.0
1"	0.0	100.0
3/4"	45.3	54.7
1/2"	37.2	17.6
3/8"	12.9	4.7
N° 04	4.7	0.0
N° 08	0.0	0.0
N° 16	0.0	0.0
Fondo	0.0	0.0



*[Signature]*  
 David Henry Bernilla Rodríguez  
 TÉCNICO DE LABORATORIO

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES  
**USAT**  
  
 TÉCNICO DE LABORATORIO



Expediente N° : LEM USAT 025-2023-II  
Peticionario : Bernilla Rodríguez David Henry  
Tesis : Predicción de la resistencia a la compresión del concreto usando redes neuronales artificiales  
Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
Fecha de emisión : Chiclayo, 27 de Octubre del 2023

DISEÑO DE MEZCLA FINAL  $F'c = 175 \text{ kg/cm}^2$

Resultados del diseño de mezcla :

Porcentaje promedio a los 28 días : 119 %  
Factor cemento por  $M^3$  de concreto : 7.7 bolsas/ $m^3$   
Relación agua cemento de diseño : 0.629

Cantidad de materiales por metro cúbico :

Cemento	326 $Kg/m^3$	Tipo I
Agua	210 L	:
Agregado fino	716 $Kg/m^3$	: Arena amarilla - Pacherez
Agregado grueso	933 $Kg/m^3$	: Piedra Chancada - Pacherez

	Cemento	Arena	Piedra	Agua	
Proporción en peso :	1.00	2.20	2.86	27.33	Lts/ $pie^3$
Proporción en volumen :	1.00	2.01	2.89	27.33	Lts/ $pie^3$

David Henry Bernilla  
TÉCNICO DE LABORATORIO

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES  
USAT  
  
TÉCNICO DE LABORATORIO



**Tesista** : Bernilla Rodríguez David Henry  
**Solicitante** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Predicción de la resistencia a la compresión del concreto usando redes neuronales artificiales  
**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 27 de Octubre del 2023

**DISEÑO DE MEZCLA FINAL**

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

**CEMENTO:**

- 1.- Tipo de cemento : Tipo I
- 2.- Peso específico : 3150 Kg/m<sup>3</sup>

**AGREGADOS :**

Agregado fino :

- Cantera : Arena amarilla - Pacherez
- 1.- Peso específico de masa : 2.374 gr/cm<sup>3</sup>
  - 2.- Peso específico de masa S.S.S. : 2.4085 gr/cm<sup>3</sup>
  - 3.- Peso unitario suelto : 1641 Kg/m<sup>3</sup>
  - 4.- Peso unitario compactado : 1877 Kg/m<sup>3</sup>
  - 5.- % de absorción : 1.5 %
  - 6.- Contenido de humedad : 0.9 %
  - 7.- Módulo de fineza : 2.978

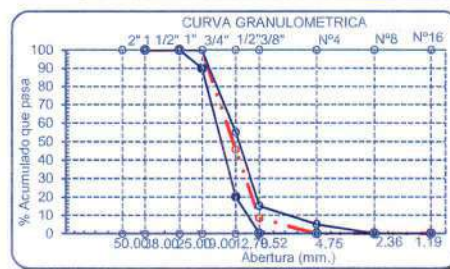
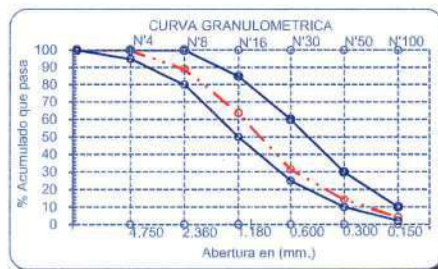
Agregado grueso :

- Cantera : Piedra Chancada - Pacherez
- 1.- Peso específico de masa : 2.341 gr/cm<sup>3</sup>
  - 2.- Peso específico de masa S.S.S. : 2.367 gr/cm<sup>3</sup>
  - 3.- Peso unitario suelto : 1488 Kg/m<sup>3</sup>
  - 4.- Peso unitario compactado : 1548 Kg/m<sup>3</sup>
  - 5.- % de absorción : 1.08 %
  - 6.- Contenido de humedad : 0.77 %
  - 7.- Tamaño máximo : 3/4" Pulg.
  - 8.- Tamaño máximo nominal : 1/2" Pulg.

**Granulometría :**

Malla	% Retenido	% Acumulado que pasa
3/8"	0.0	100.0
Nº 04	0.4	99.6
Nº 08	10.5	89.1
Nº 16	25.5	63.6
Nº 30	32.1	31.5
Nº 50	17.2	14.3
Nº 100	10.2	4.1
Fondo	4.1	0.0

Malla	% Retenido	% Acumulado que pasa
2"	0.0	100.0
1 1/2"	0.0	100.0
1"	0.0	100.0
3/4"	0.0	100.0
1/2"	54.4	45.6
3/8"	37.3	8.3
Nº 04	8.3	0.0
Nº 08	0.0	0.0
Nº 16	0.0	0.0
Fondo	0.0	0.0



*Rivero Tejedor, Jolitas Henis*  
**TÉCNICO DE LABORATORIO**





Expediente N° : LEM USAT 025-2023-II  
Peticionario : Bernilla Rodriguez David Henry  
Tesis : Predicción de la resistencia a la compresión del concreto usando redes neuronales artificiales  
Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
Fecha de emisión : Chiclayo, 27 de Octubre del 2023

DISEÑO DE MEZCLA FINAL  $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Resultados del diseño de mezcla :


Porcentaje promedio a los 28 días : 140 %  
Factor cemento por  $M^3$  de concreto : 9.1 bolsas/ $m^3$   
Relación agua cemento de diseño : 0.557

Cantidad de materiales por metro cúbico :

Cemento	388 $Kg/m^3$	Tipo I
Agua	222 L	:
Agregado fino	490 $Kg/m^3$	: Arena amarilla - Pacherez
Agregado grueso	1017 $Kg/m^3$	: Piedra Chancada - Pacherez

	Cemento	Arena	Piedra	Agua	
Proporción en peso :	1.00	1.26	2.62	24.29	Lts/ $pie^3$
Proporción en volumen :	1.00	1.16	2.65	24.29	Lts/ $pie^3$

  
David Henry Bernilla Rodriguez  
TÉCNICO DE LABORATORIO





**Tesista** : Bernilla Rodríguez David Henry  
**Solicitante** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Predicción de la resistencia a la compresión del concreto usando redes neuronales artificiales  
**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 27 de Octubre del 2023

**DISEÑO DE MEZCLA FINAL**

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

**CEMENTO:**

- 1.- Tipo de cemento : Tipo I
- 2.- Peso específico : 3150 Kg/m<sup>3</sup>

**AGREGADOS :**

Agregado fino :

- Cantera : Arena amarilla - Pacherez
- 1.- Peso específico de masa : 2.374 gr/cm<sup>3</sup>
  - 2.- Peso específico de masa S.S.S. : 2.4085 gr/cm<sup>3</sup>
  - 3.- Peso unitario suelto : 1641 Kg/m<sup>3</sup>
  - 4.- Peso unitario compactado : 1877 Kg/m<sup>3</sup>
  - 5.- % de absorción : 1.5 %
  - 6.- Contenido de humedad : 0.9 %
  - 7.- Módulo de fineza : 2.978

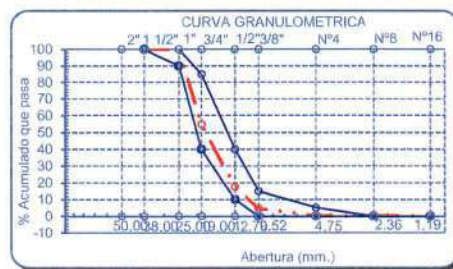
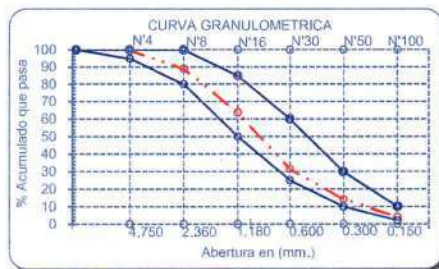
Agregado grueso :

- Cantera : Piedra Chancada - Pacherez
- 1.- Peso específico de masa : 2.488 gr/cm<sup>3</sup>
  - 2.- Peso específico de masa S.S.S. : 2.505 gr/cm<sup>3</sup>
  - 3.- Peso unitario suelto : 1486 Kg/m<sup>3</sup>
  - 4.- Peso unitario compactado : 1540 Kg/m<sup>3</sup>
  - 5.- % de absorción : 0.7 %
  - 6.- Contenido de humedad : 0.6 %
  - 7.- Tamaño máximo : 1" Pulg.
  - 8.- Tamaño máximo nominal : 3/4" Pulg.

**Granulometría :**

Malla	% Retenido	% Acumulado que pasa
3/8"	0.0	100.0
N° 04	0.4	99.6
N° 08	10.5	89.1
N° 16	25.5	63.6
N° 30	32.1	31.5
N° 50	17.2	14.3
N° 100	10.2	4.1
Fondo	4.1	0.0

Malla	% Retenido	% Acumulado que pasa
2"	0.0	100.0
1 1/2"	0.0	100.0
1"	0.0	100.0
3/4"	45.3	54.7
1/2"	37.2	17.6
3/8"	12.9	4.7
N° 04	4.7	0.0
N° 08	0.0	0.0
N° 16	0.0	0.0
Fondo	0.0	0.0



*Riviera Leyda Oblitas Henry*  
**TECNICO DE LABORATORIO**

USAT  
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES  
**TECNICO DE LABORATORIO**



Expediente N° : LEM USAT 025-2023-II  
Peticiónario : Bernilla Rodríguez David Henry  
Tesis : Predicción de la resistencia a la compresión del concreto usando redes neuronales artificiales  
Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
Fecha de emisión : Chiclayo, 27 de Octubre del 2023

DISEÑO DE MEZCLA FINAL  $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Resultados del diseño de mezcla :

Porcentaje promedio a los 28 días : 145 %  
Factor cemento por  $M^3$  de concreto : 8,7 bolsas/ $m^3$   
Relación agua cemento de diseño : 0,557

Cantidad de materiales por metro cúbico :

Cemento	368 $Kg/m^3$	Tipo I
Agua	209 L	:
Agregado fino	684 $Kg/m^3$	: Arena amarilla - Pacherez
Agregado grueso	933 $Kg/m^3$	: Piedra Chancada - Pacherez

	Cemento	Arena	Piedra	Agua	
Proporción en peso :	1.00	1.86	2.53	24.18	Lts/ $pie^3$
Proporción en volumen :	1.00	1.70	2.56	24.18	Lts/ $pie^3$

David Henry Bernilla  
TÉCNICO DE LABORATORIO

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES  
USAT  
  
TÉCNICO DE LABORATORIO



**Tesista** : Bernilla Rodríguez David Henry  
**Solicitante** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Predicción de la resistencia a la compresión del concreto usando redes neuronales artificiales  
**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 27 de Octubre del 2023

**DISEÑO DE MEZCLA FINAL**

$F'c = 245 \text{ kg/cm}^2$

**CEMENTO:**

- 1.- Tipo de cemento : Tipo I
- 2.- Peso específico : 3150 Kg/m<sup>3</sup>

**AGREGADOS :**

Agregado fino :

- Cantera : Arena amarilla - Pacherez
- 1.- Peso específico de masa : 2.374 gr/cm<sup>3</sup>
  - 2.- Peso específico de masa S.S.S. : 2.4085 gr/cm<sup>3</sup>
  - 3.- Peso unitario suelto : 1641 Kg/m<sup>3</sup>
  - 4.- Peso unitario compactado : 1877 Kg/m<sup>3</sup>
  - 5.- % de absorción : 1.5 %
  - 6.- Contenido de humedad : 0.9 %
  - 7.- Módulo de fineza : 2.978

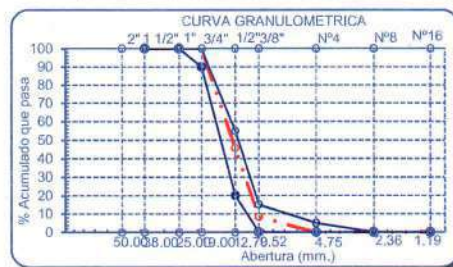
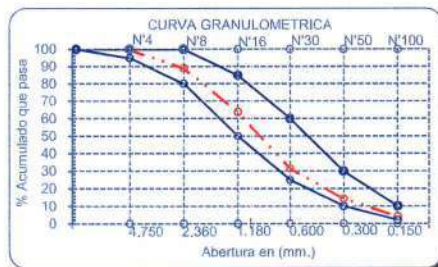
Agregado grueso :

- Cantera : Piedra Chancada - Pacherez
- 1.- Peso específico de masa : 2.341 gr/cm<sup>3</sup>
  - 2.- Peso específico de masa S.S.S. : 2.367 gr/cm<sup>3</sup>
  - 3.- Peso unitario suelto : 1488 Kg/m<sup>3</sup>
  - 4.- Peso unitario compactado : 1548 Kg/m<sup>3</sup>
  - 5.- % de absorción : 1.08 %
  - 6.- Contenido de humedad : 0.77 %
  - 7.- Tamaño máximo : 3/4" Pulg.
  - 8.- Tamaño máximo nominal : 1/2" Pulg.

**Granulometría :**

Malla	% Retenido	% Acumulado que pasa
3/8"	0.0	100.0
N° 04	0.4	99.6
N° 08	10.5	89.1
N° 16	25.5	63.6
N° 30	32.1	31.5
N° 50	17.2	14.3
N° 100	10.2	4.1
Fondo	4.1	0.0

Malla	% Retenido	% Acumulado que pasa
2"	0.0	100.0
1 1/2"	0.0	100.0
1"	0.0	100.0
3/4"	0.0	100.0
1/2"	54.4	45.6
3/8"	37.3	8.3
N° 04	8.3	0.0
N° 08	0.0	0.0
N° 16	0.0	0.0
Fondo	0.0	0.0



*[Handwritten Signature]*  
 David Henry Oblitas Henry  
 TÉCNICO DE LABORATORIO

USAT  
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES  
*[Handwritten Signature]*  
 TÉCNICO DE LABORATORIO



Expediente N° : LEM USAT 025-2023-II  
Peticionario : Bernilla Rodriguez David Henry  
Tesis : Predicción de la resistencia a la compresión del concreto usando redes neuronales artificiales  
Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
Fecha de emisión : Chiclayo, 27 de Octubre del 2023

DISEÑO DE MEZCLA FINAL  $F'c = 245 \text{ kg/cm}^2$

Resultados del diseño de mezcla :


Porcentaje promedio a los 28 días : 138 %  
Factor cemento por  $M^3$  de concreto : 10.0 bolsas/ $m^3$   
Relación agua cemento de diseño : 0.508

Cantidad de materiales por metro cúbico :

Cemento	425 $Kg/m^3$	Tipo I
Agua	222 L	:
Agregado fino	462 $Kg/m^3$	: Arena amarilla - Pacherez
Agregado grueso	1017 $Kg/m^3$	: Piedra Chancada - Pacherez

	Cemento	Arena	Piedra	Agua	
Proporción en peso :	1.00	1.09	2.39	22.14	Lts/ $pie^3$
Proporción en volumen :	1.00	0.99	2.41	22.14	Lts/ $pie^3$

  
David Henry Bernilla Rodriguez  
TÉCNICO DE LABORATORIO





**Tesista** : Bernilla Rodríguez David Henry  
**Solicitante** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Predicción de la resistencia a la compresión del concreto usando redes neuronales artificiales  
**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 27 de Octubre del 2023

**DISEÑO DE MEZCLA FINAL**

$F'c = 245 \text{ kg/cm}^2$

**CEMENTO:**

- 1.- Tipo de cemento : Tipo I
- 2.- Peso específico : 3150 Kg/m<sup>3</sup>

**AGREGADOS :**

Agregado fino :

- Cantera : Arena amarilla - Pacherez
- 1.- Peso específico de masa : 2.374 gr/cm<sup>3</sup>
- 2.- Peso específico de masa S.S.S. : 2.4085 gr/cm<sup>3</sup>
- 3.- Peso unitario suelto : 1641 Kg/m<sup>3</sup>
- 4.- Peso unitario compactado : 1877 Kg/m<sup>3</sup>
- 5.- % de absorción : 1.5 %
- 6.- Contenido de humedad : 0.9 %
- 7.- Módulo de fineza : 2.978

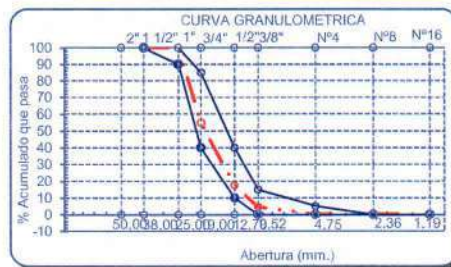
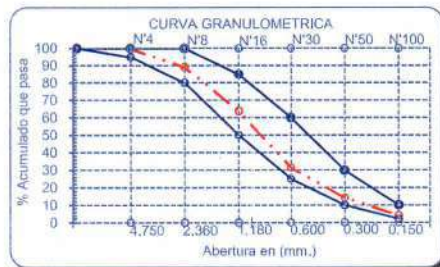
Agregado grueso :

- Cantera : Piedra Chancada - Pacherez
- 1.- Peso específico de masa : 2.488 gr/cm<sup>3</sup>
- 2.- Peso específico de masa S.S.S. : 2.505 gr/cm<sup>3</sup>
- 3.- Peso unitario suelto : 1486 Kg/m<sup>3</sup>
- 4.- Peso unitario compactado : 1540 Kg/m<sup>3</sup>
- 5.- % de absorción : 0.70 %
- 6.- Contenido de humedad : 0.60 %
- 7.- Tamaño máximo : 1" Pulg.
- 8.- Tamaño máximo nominal : 3/4" Pulg.

**Granulometría :**

Malla	% Retenido	% Acumulado que pasa
3/8"	0.0	100.0
Nº 04	0.4	99.6
Nº 08	10.5	89.1
Nº 16	25.5	63.6
Nº 30	32.1	31.5
Nº 50	17.2	14.3
Nº 100	10.2	4.1
Fondo	4.1	0.0

Malla	% Retenido	% Acumulado que pasa
2"	0.0	100.0
1 1/2"	0.0	100.0
1"	0.0	100.0
3/4"	45.3	54.7
1/2"	37.2	17.6
3/8"	12.9	4.7
Nº 04	4.7	0.0
Nº 08	0.0	0.0
Nº 16	0.0	0.0
Fondo	0.0	0.0



*[Handwritten Signature]*  
 David Henry Bernilla  
 TÉCNICO DE LABORATORIO

USAT  
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES  
*[Handwritten Signature]*  
 TÉCNICO DE LABORATORIO



Expediente N° : LEM USAT 025-2023-II  
 Peticionario : Bernilla Rodríguez David Henry  
 Tesis : Predicción de la resistencia a la compresión del concreto usando redes neuronales artificiales  
 Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
 Fecha de emisión : Chiclayo, 27 de Octubre del 2023

DISEÑO DE MEZCLA FINAL  $F'c = 245 \text{ kg/cm}^2$

Resultados del diseño de mezcla :

Porcentaje promedio a los 28 días : 134 %  
 Factor cemento por  $M^3$  de concreto : 9.5 bolsas/ $m^3$   
 Relación agua cemento de diseño : 0.508

Cantidad de materiales por metro cúbico :

Cemento	404 $Kg/m^3$	Tipo I
Agua	209 L	:
Agregado fino	657 $Kg/m^3$	: Arena amarilla - Pacherez
Agregado grueso	933 $Kg/m^3$	: Piedra Chancada - Pacherez

	Cemento	Arena	Piedra	Agua	
Proporción en peso :	1.00	1.63	2.31	22.04	Lts/ $pie^3$
Proporción en volumen :	1.00	1.49	2.34	22.04	Lts/ $pie^3$

*Rivero David Henry*  
 TÉCNICO DE LABORATORIO

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES  
 USAT  
  
 TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Bernilla Rodríguez David Henry  
Atención : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
Tesis : Predicción de la resistencia a la compresión del concreto usando redes neuronales artificiales  
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.  
Fecha de emisión : Chiclayo, 27 de Octubre del 2022  
Cantera : Pacherez  
Código : N.T.P. 339.034 - 2008 / ASTM C-39/39M - 05  
Título : HORMIGÓN (CONCRETO), Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas

Muestra N°	Denominación ó descripción del vaciado	Fecha de Vaciado	Fecha de Ensayo	Dias	f'c kg/cm2
1	CONCRETO 175 kg/cm2	22/05/2023	20/06/2023	28	194
2	CONCRETO 175 kg/cm2	22/05/2023	20/06/2023	28	209
3	CONCRETO 210 kg/cm2	22/05/2023	20/06/2023	28	294
4	CONCRETO 210 kg/cm2	22/05/2023	20/06/2023	28	304
5	CONCRETO 245 kg/cm2	22/05/2023	20/06/2023	28	337
6	CONCRETO 245 kg/cm2	22/05/2023	20/06/2023	28	330

**OBSERVACIONES :**

- Muestreo realizados por el solicitante.
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio.

David Bernilla Rodríguez  
TÉCNICO DE LABORATORIO

USAT  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES  
  
TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



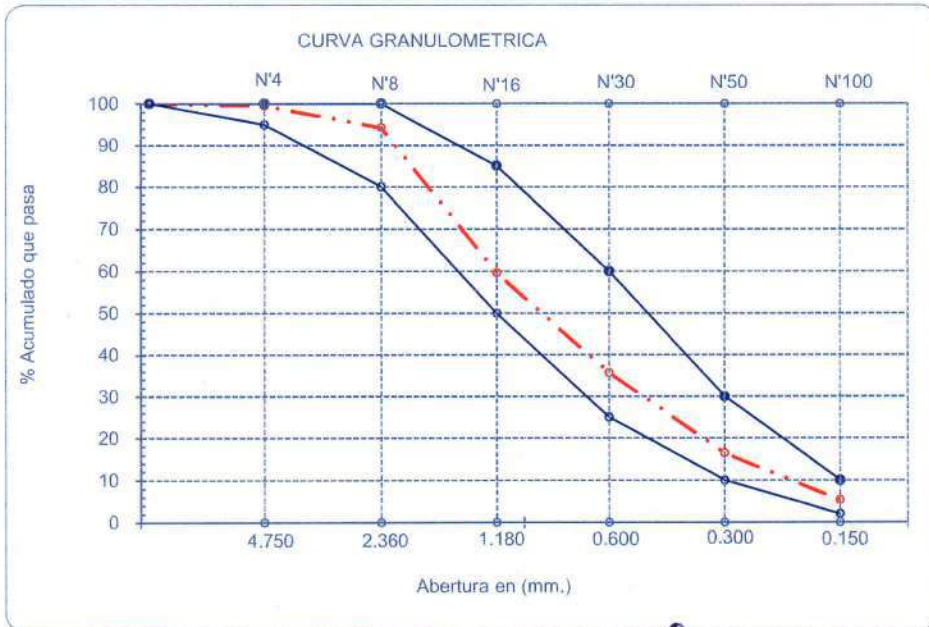
**Tesista** : Bernilla Rodriguez David Henry  
**Escuela** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Predicción de la resistencia a la compresión del concreto usando redes neuronales artificiales  
**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 27 de Octubre del 2023

Ensayo : Análisis granulométrico por tamizado del agregado fino  
Referencia : Norma ASTM C-136 ó N.T.P. 400.012

**Cantera** : Arena de río - Tres Tomas      **P. Inicial H.** 509.4      **% de Humedad =** 1.52      **Modulo de Fineza:**  
**P. Inicial S.** 501.8      **Fineza:** 2.89

Malla		Peso Ret.	(% Ret.)	(% Acum. Ret.)	(% Acum. Que Pasa)	Especificaciones:	
Pulg.	(mm.)						
1/2"	12.700	0	0.0	0.0	100.0	100	100
3/8"	9.500	0	0.0	0.0	100.0	100	100
Nº 04	4.750	2.36	0.5	0.5	99.5	95	100
Nº 08	2.360	26.35	5.3	5.7	94.3	80	100
Nº 16	1.180	173.69	34.6	40.3	59.7	50	85
Nº 30	0.600	119.87	23.9	64.2	35.8	25	60
Nº 50	0.300	96.83	19.3	83.5	16.5	10	30
Nº 100	0.150	56.0	11.2	94.7	5.3	2	10
Fondo		26.65	5.3	100.0	0.0		

Módulo de Fineza	2.890
Abertura de malla de referencia	9.500



*[Handwritten Signature]*  
**Rivero Roberto Oblitas Henry**  
**TÉCNICO DE LABORATORIO**





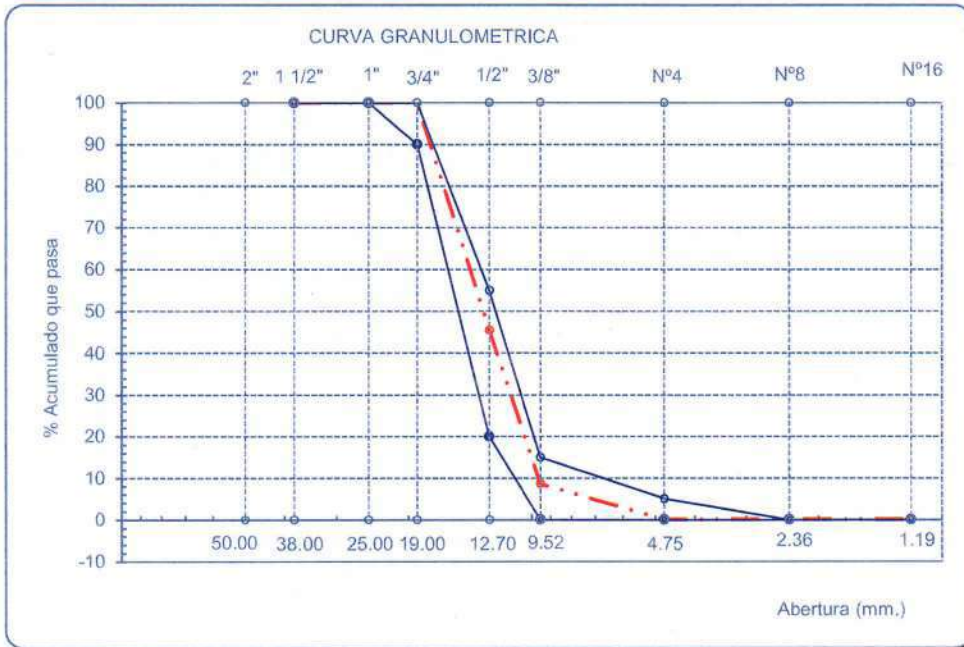
UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 FACULTAD DE INGENIERÍA  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES



**Tesista** : Bernilla Rodriguez David Henry  
**Escuela** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Predicción de la resistencia a la compresión del concreto usando redes neuronales artificiales  
**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 27 de Octubre del 2023  
**Ensayo** : Análisis granulométrico por tamizado del agregado grueso  
**Referencia** : Norma ASTM C-136 ó N.T.P. 400.012

**Cantera** : Piedra Chancada - Tres Tomas **P. Inicial H.** 1809.9 **% de Humedad =** 0.55  
**P. Inicial S.** 1800

Malla		Peso Ret.	(% Ret.)	(% Acum. Ret.)	(% Acum. Que Pasa)	Especificaciones USO 6	
Pulg.	(mm.)						
2"	50.00	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
1 1/2"	38.00	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
1"	25.00	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
3/4"	19.00	0.0	0.0	0.0	100.0	90.0	100.0
1/2"	12.70	980.6	54.5	54.5	45.5	20.0	55.0
3/8"	9.52	663.8	36.9	91.4	8.6	0.0	15.0
Nº 04	4.75	155.7	8.7	100.0	0.0	0.0	5.0
Nº 08	2.36	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
Nº 16	1.19	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
Fondo		0	0.0	100.0	0.0		
Tamaño Maximo			3/4"	38.00			
Tamaño Maximo Nominal			1/2"	25.00			



*[Handwritten Signature]*  
 David Henry Bernilla Rodriguez  
 TÉCNICO DE LABORATORIO





**Tesista** : Bernilla Rodriguez David Henry  
**Escuela** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Predicción de la resistencia a la compresión del concreto usando redes neuronales artificiales  
**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 27 de Octubre del 2023

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

**Canetra** : Arena de río - Tres Tomas

**1.- PESO UNITARIO SUELTO**

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	<b>8272</b>	<b>8296</b>
2.- Peso del recipiente	(gr.)	0.0	0.0
3.- Peso del material		8272	8296
4.- Constante ó Volumen	(m <sup>3</sup> )	0.00530	0.00530
5.- Peso unitario suelto húmedo	(kg/m <sup>3</sup> )	1560	1565
6.- Peso unitario suelto seco (Promedio)	(kg/m <sup>3</sup> )		<b>1539</b>

**2.- PESO UNITARIO COMPACTADO**

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	<b>9616</b>	<b>9568</b>
2.- Peso del recipiente	(gr.)	0.0	0.0
3.- Peso del material		9616	9568
4.- Constante ó Volumen	(m <sup>3</sup> )	0.00530	0.00530
5.- Peso unitario compactado húmedo	(kg/m <sup>3</sup> )	1814	1805
6.- Peso unitario compactado seco (Promedio)	(kg/m <sup>3</sup> )		<b>1782</b>

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

**C.- CONTENIDO DE HUMEDAD**

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	<b>509.4</b>	<b>509.4</b>
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	<b>501.75</b>	<b>501.75</b>
C.- Peso de recipiente	(gr.)	0.0	0.0
D.- Contenido de humedad	(%)	1.5	1.5
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)		<b>1.52</b>

  
David Henry Bernilla Rodriguez  
TÉCNICO DE LABORATORIO

  
USAT  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES  
TÉCNICO DE LABORATORIO



**Tesista** : Bernilla Rodríguez David Henry  
**Solicitante** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Predicción de la resistencia a la compresión del concreto usando redes neuronales artificiales

**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 27 de Octubre del 2023

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

Cantera : Piedra Chancada - Tres Tomas

**A.- PESO UNITARIO SUELTO**

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	<b>8256</b>	<b>8282</b>
2.- Peso del recipiente	(gr.)	0.0	0.0
3.- Peso del material		8256	8282
4.- Constante ó Volumen	(m <sup>3</sup> )	0.00530	0.00530
5.- Peso unitario suelto húmedo	(kg/m <sup>3</sup> )	1557	1562
6.- Peso unitario suelto seco (Promedio)	(kg/m <sup>3</sup> )	<b>1551</b>	

**B.- PESO UNITARIO COMPACTADO**

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	<b>8987</b>	<b>9002</b>
2.- Peso del recipiente	(gr.)	0.0	0.0
3.- Peso del material		8987.0	9002.0
4.- Constante ó Volumen	(m <sup>3</sup> )	0.00530	0.00530
5.- Peso unitario compactado húmedo	(kg/m <sup>3</sup> )	1695	1698
6.- Peso unitario compactado seco (Promedio)	(kg/m <sup>3</sup> )	<b>1687</b>	

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

**C.- CONTENIDO DE HUMEDAD**

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	<b>1809.9</b>	<b>1809.9</b>
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	<b>1800</b>	<b>1800</b>
C.- Peso de recipiente	(gr.)	0.0	0
D.- Contenido de humedad	(%)	0.6	0.6
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	<b>0.55</b>	

*[Handwritten Signature]*  
Rivindonyta Oblitas Henry  
TÉCNICO DE LABORATORIO

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
USAT  
*[Handwritten Signature]*  
TÉCNICO DE LABORATORIO



**Tesista** : Bernilla Rodriguez David Henry  
**Solicitante** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Predicción de la resistencia a la compresión del concreto usando redes neuronales artificiales

**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.

**Fecha de emisión** : Chiclayo, 27 de Octubre del 2023

**Ensayo** : Peso específico y Absorción del agregado fino

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

**Cantera** : Arena de río - Tres Tomas

**I.- Datos.**

1.- Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco + F	(g)	<b>974.0</b>	<b>1017.6</b>
2.- Pes Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco	(g)	670.13	713.37
3.- Peso del Agua	(g)	303.87	304.23
4.- Peso de la Arena Secada al Horno + Peso del Frasco	(g)	664.81	708.48
5.- Peso del Frasco	(g)	<b>170.13</b>	<b>213.37</b>
6.- Peso de la Arena Secada al Horno	(g)	<b>495</b>	<b>495</b>
7.- Volumen del frasco	(g)	500	500

**II.- Resultados**

A.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm <sup>3</sup> )	<b>2.526</b>
B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm <sup>3</sup> )	2.552
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	(g/cm <sup>3</sup> )	2.593
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	<b>1.03</b>

**Ensayo** : Peso específico y Absorción del agregado grueso

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

**Cantera** : Piedra Chancada - Tres Tomas

**I.- Datos.**

1.- Peso de la muestra secada al horno	(g)	<b>1890</b>	<b>2003</b>
2.- Peso de la muestra superficialmente seca	(g)	<b>1903</b>	<b>2007</b>
3.- Peso de la muestra dentro del agua + peso del ca	(g)	<b>2250</b>	<b>2238</b>
4.- Peso de la canastilla	(g)	<b>1044</b>	<b>1044</b>
5.- Peso de la muestra saturada dentro del agua	(g)	1206	1194

**II.- Resultados**

A.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm <sup>3</sup> )	<b>2.579</b>
B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm <sup>3</sup> )	2.590
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	(g/cm <sup>3</sup> )	2.608
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	<b>0.44</b>

David Henry Bernilla  
TÉCNICO DE LABORATORIO





**Tesista** : Bernilla Rodriguez David Henry  
**Solicitante** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Predicción de la resistencia a la compresión del concreto usando redes neuronales artificiales

**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.

**Fecha de emisión** : Chiclayo, 27 de Octubre del 2023

**Ensayo** : Contenido de humedad del agregado fino

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

Cantera : Arena de río - Tres Tomas

I.- Datos

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	<b>504.1</b>	<b>504.1</b>
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	<b>496.6</b>	<b>496.6</b>
C.- Peso de recipiente	(gr.)	0.0	0
D.- Contenido de humedad	(%)	1.51	1.51
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	<b>1.51</b>	

**Ensayo** : Contenido de humedad del agregado grueso

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

Cantera : Piedra Chancada - Tres Tomas

I.- Datos

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	<b>1500</b>	<b>1500</b>
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	<b>1491.8</b>	<b>1491.8</b>
C.- Peso de recipiente	(gr.)	0.0	0
D.- Contenido de humedad	(%)	0.5	0.5
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	<b>0.55</b>	

*Rivadeneira Oblitas Henry*  
TÉCNICO DE LABORATORIO





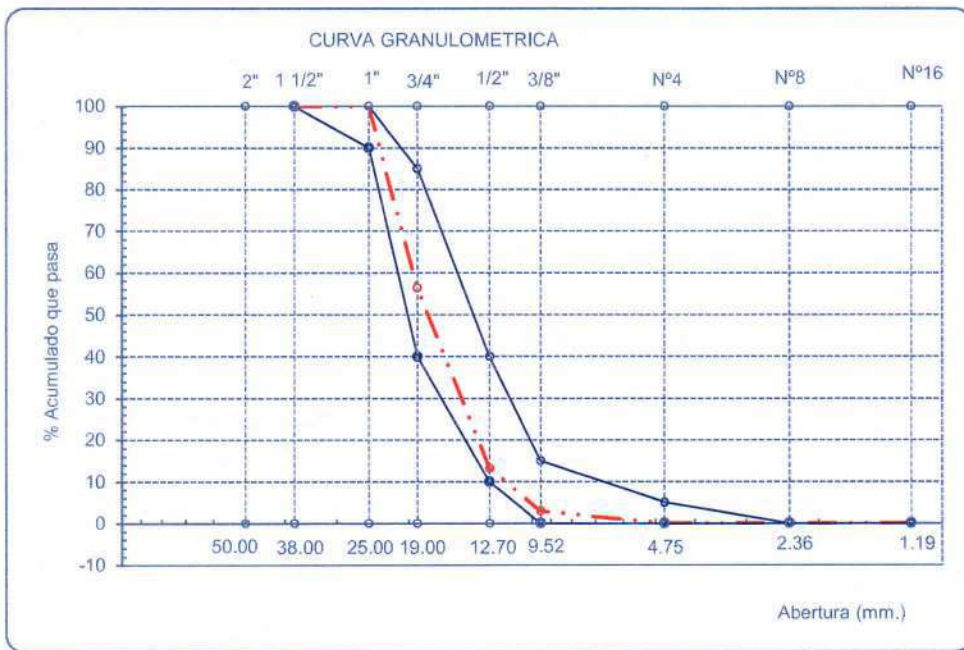
UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 FACULTAD DE INGENIERÍA  
 ESCUELA DE DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES



**Tesista** : Bernilla Rodriguez David Henry  
**Escuela** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Predicción de la resistencia a la compresión del concreto usando redes neuronales artificiales  
**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 27 de Octubre del 2023  
**Ensayo** : Análisis granulométrico por tamizado del agregado grueso  
**Referencia** : Norma ASTM C-136 6 N.T.P. 400.012

**Cantera** : Piedra Chancada - Tres Tomas **P. Inicial H.** 2011 **% de Humedad =** 0.50  
**P. Inicial S.** 2001

Malla	Peso	(%)	(%) Acum.	(%) Acum.	Especificaciones	USO 56	
						Ret.	Ret.
2"	50.00	0.0	0.0	0.0	100.0		
1 1/2"	38.00	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
1"	25.00	0.0	0.0	0.0	100.0	90.0	100.0
3/4"	19.00	871.8	43.6	43.6	56.4	40.0	85.0
1/2"	12.70	863.7	43.2	86.7	13.3	10.0	40.0
3/8"	9.52	206.1	10.3	97.0	3.0	0.0	15.0
Nº 04	4.75	59.7	3.0	100.0	0.0	0.0	5.0
Nº 08	2.36	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
Nº 16	1.19	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
Fondo		0	0.0	100.0	0.0		
Tamaño Maximo		1"		38.00			
Tamaño Maximo Nominal		3/4"		25.00			



*Rubén Rodríguez Oblitas Henry*  
**TÉCNICO DE LABORATORIO**





**Tesista** : Bernilla Rodriguez David Henry  
**Solicitante** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Predicción de la resistencia a la compresión del concreto usando redes neuronales artificiales

**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.

**Fecha de emisión** : Chiclayo, 27 de Octubre del 2023

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

**Cantera** : Piedra Chancada - Tres Tomas

**A.- PESO UNITARIO SUELTO**

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	<b>7989</b>	<b>8009</b>
2.- Peso del recipiente	(gr.)	0.0	0.0
3.- Peso del material		7989	8009
4.- Constante ó Volumen	(m <sup>3</sup> )	0.00530	0.00530
5.- Peso unitario suelto húmedo	(kg/m <sup>3</sup> )	1507	1511
6.- Peso unitario suelto seco (Promedio)	(kg/m <sup>3</sup> )	<b>1501</b>	

**B.- PESO UNITARIO COMPACTADO**

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	<b>8742</b>	<b>8757</b>
2.- Peso del recipiente	(gr.)	0.0	0.0
3.- Peso del material		8742.0	8757.0
4.- Constante ó Volumen	(m <sup>3</sup> )	0.00530	0.00530
5.- Peso unitario compactado húmedo	(kg/m <sup>3</sup> )	1649	1652
6.- Peso unitario compactado seco (Promedio)	(kg/m <sup>3</sup> )	<b>1642</b>	

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

**C.- CONTENIDO DE HUMEDAD**

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	<b>2011</b>	<b>2011</b>
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	<b>2001</b>	<b>2001</b>
C.- Peso de recipiente	(gr.)	0.0	0
D.- Contenido de humedad	(%)	0.5	0.5
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	<b>0.50</b>	

  
David Henry Bernilla  
TÉCNICO DE LABORATORIO





**Tesista** : Bernilla Rodriguez David Henry  
**Solicitante** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Predicción de la resistencia a la compresión del concreto usando redes neuronales artificiales

**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.

**Fecha de emisión** : Chiclayo, 27 de Octubre del 2023

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

Cantera : Arena de río - Tres Tomas

I.- Datos

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	<b>504.1</b>	<b>504.1</b>
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	<b>496.6</b>	<b>496.6</b>
C.- Peso de recipiente	(gr.)	0.0	0
D.- Contenido de humedad	(%)	1.51	1.51
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	<b>1.51</b>	

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

Cantera : Piedra Chancada - Tres Tomas

I.- Datos

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	<b>1800</b>	<b>1800</b>
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	<b>1791.1</b>	<b>1791.1</b>
C.- Peso de recipiente	(gr.)	0.0	0
D.- Contenido de humedad	(%)	0.5	0.5
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	<b>0.50</b>	

  
Rivindrea Oblitas Henry  
TÉCNICO DE LABORATORIO





**Tesista** : Bernilla Rodríguez David Henry  
**Solicitante** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Predicción de la resistencia a la compresión del concreto usando redes neuronales artificiales  
**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 27 de Octubre del 2023

**DISEÑO DE MEZCLA FINAL**

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

**CEMENTO:**

- 1.- Tipo de cemento : Tipo I
- 2.- Peso específico : 3150 Kg/m<sup>3</sup>

**AGREGADOS :**

Agregado fino :

- Cantera : Arena de río - Tres Tomas
- 1.- Peso específico de masa : 2.526 gr/cm<sup>3</sup>
  - 2.- Peso específico de masa S.S.S. : 2.5517 gr/cm<sup>3</sup>
  - 3.- Peso unitario suelto : 1539 Kg/m<sup>3</sup>
  - 4.- Peso unitario compactado : 1782 Kg/m<sup>3</sup>
  - 5.- % de absorción : 1.0 %
  - 6.- Contenido de humedad : 1.5 %
  - 7.- Módulo de fineza : 2.890

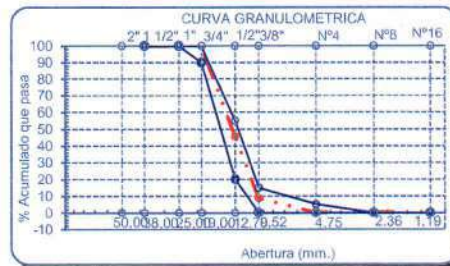
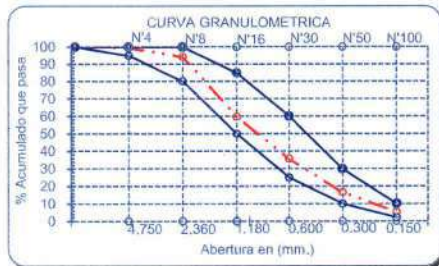
Agregado grueso :

- Cantera : Piedra Chancada - Tres Tomas
- 1.- Peso específico de masa : 2.579 gr/cm<sup>3</sup>
  - 2.- Peso específico de masa S.S.S. : 2.590 gr/cm<sup>3</sup>
  - 3.- Peso unitario suelto : 1551 Kg/m<sup>3</sup>
  - 4.- Peso unitario compactado : 1687 Kg/m<sup>3</sup>
  - 5.- % de absorción : 0.44 %
  - 6.- Contenido de humedad : 0.55 %
  - 7.- Tamaño máximo : 3/4" Pulg.
  - 8.- Tamaño máximo nominal : 1/2" Pulg.

**Granulometría :**

Malla	% Retenido	% Acumulado que pasa
3/8"	0.0	100.0
Nº 04	0.5	99.5
Nº 08	5.3	94.3
Nº 16	34.6	59.7
Nº 30	23.9	35.8
Nº 50	19.3	16.5
Nº 100	11.2	5.3
Fondo	5.3	0.0

Malla	% Retenido	% Acumulado que pasa
2"	0.0	100.0
1 1/2"	0.0	100.0
1"	0.0	100.0
3/4"	0.0	100.0
1/2"	54.5	45.5
3/8"	36.9	8.6
Nº 04	8.7	0.0
Nº 08	0.0	0.0
Nº 16	0.0	0.0
Fondo	0.0	0.0



*Rivero David Henry*  
**TÉCNICO DE LABORATORIO**

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES  
**USAT**  
**TÉCNICO DE LABORATORIO**



Expediente N° : LEM USAT 025-2023-II  
 Peticionario : Bernilla Rodriguez David Henry  
 Tesis : Predicción de la resistencia a la compresión del concreto usando redes neuronales artificiales  
 Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
 Fecha de emisión : Chiclayo, 27 de Octubre del 2023

DISEÑO DE MEZCLA FINAL  $F'c = 175 \text{ kg/cm}^2$

Resultados del diseño de mezcla :

Porcentaje promedio a los 28 días : 116 %  
 Factor cemento por  $M^3$  de concreto : 7.2 bolsas/ $m^3$   
 Relación agua cemento de diseño : 0.629

Cantidad de materiales por metro cúbico :

Cemento	307 $Kg/m^3$	Tipo I
Agua	189 L	:
Agregado fino	672 $Kg/m^3$	: Arena de río - Tres Tomas
Agregado grueso	1121 $Kg/m^3$	: Piedra Chancada - Tres Tomas

	Cemento	Arena	Piedra	Agua	
Proporción en peso :	1.00	2.19	3.66	26.12	Lts/ $pie^3$
Proporción en volumen :	1.00	2.14	3.54	26.12	Lts/ $pie^3$

*Rivinderey Bernilla Henry*  
**TÉCNICO DE LABORATORIO**

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES  
**USAT**  
  
**TÉCNICO DE LABORATORIO**



**Tesista** : Bernilla Rodriguez David Henry  
**Solicitante** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Predicción de la resistencia a la compresión del concreto usando redes neuronales artificiales  
**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 27 de Octubre del 2023

**DISEÑO DE MEZCLA FINAL**

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

**CEMENTO:**

- 1.- Tipo de cemento : Tipo I
- 2.- Peso específico : 3150 Kg/m<sup>3</sup>

**AGREGADOS :**

Agregado fino :

- Cantera : Arena de río - Tres Tomas
- 1.- Peso específico de masa : 2.526 gr/cm<sup>3</sup>
  - 2.- Peso específico de masa S.S.S. : 2.5517 gr/cm<sup>3</sup>
  - 3.- Peso unitario suelto : 1539 Kg/m<sup>3</sup>
  - 4.- Peso unitario compactado : 1782 Kg/m<sup>3</sup>
  - 5.- % de absorción : 1.0 %
  - 6.- Contenido de humedad : 1.5 %
  - 7.- Módulo de fineza : 2.890

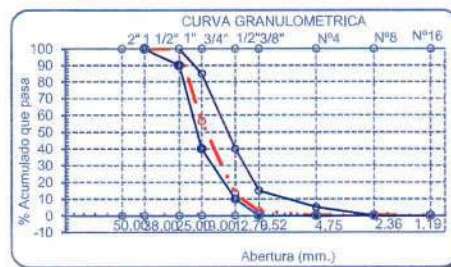
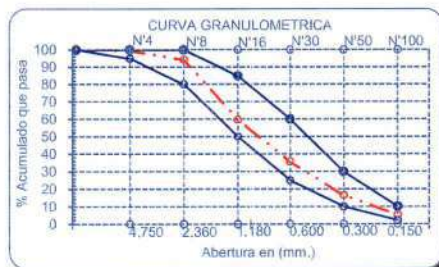
Agregado grueso :

- Cantera : Piedra Chancada - Tres Tomas
- 1.- Peso específico de masa : 2.461 gr/cm<sup>3</sup>
  - 2.- Peso específico de masa S.S.S. : 2.481 gr/cm<sup>3</sup>
  - 3.- Peso unitario suelto : 1501 Kg/m<sup>3</sup>
  - 4.- Peso unitario compactado : 1642 Kg/m<sup>3</sup>
  - 5.- % de absorción : 0.8 %
  - 6.- Contenido de humedad : 0.5 %
  - 7.- Tamaño máximo : 1" Pulg.
  - 8.- Tamaño máximo nominal : 3/4" Pulg.

**Granulometría :**

Malla	% Retenido	% Acumulado que pasa
3/8"	0.0	100.0
Nº 04	0.5	99.5
Nº 08	5.3	94.3
Nº 16	34.6	59.7
Nº 30	23.9	35.8
Nº 50	19.3	16.5
Nº 100	11.2	5.3
Fondo	5.3	0.0

Malla	% Retenido	% Acumulado que pasa
2"	0.0	100.0
1 1/2"	0.0	100.0
1"	0.0	100.0
3/4"	43.6	56.4
1/2"	43.2	13.3
3/8"	10.3	3.0
Nº 04	3.0	0.0
Nº 08	0.0	0.0
Nº 16	0.0	0.0
Fondo	0.0	0.0



*[Handwritten Signature]*  
 David Henry Bernilla Rodriguez  
 TÉCNICO DE LABORATORIO

*[Handwritten Signature]*  
 TÉCNICO DE LABORATORIO



Expediente N° : LEM USAT 025-2023-II  
 Peticionario : Bernilla Rodriguez David Henry  
 Tesis : Predicción de la resistencia a la compresión del concreto usando redes neuronales artificiales  
 Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
 Fecha de emisión : Chiclayo, 27 de Octubre del 2023

DISEÑO DE MEZCLA FINAL  $F'c = 175 \text{ kg/cm}^2$

Resultados del diseño de mezcla :

Porcentaje promedio a los 28 días : 111 %  
 Factor cemento por  $M^3$  de concreto : 7.2 bolsas/ $m^3$   
 Relación agua cemento de diseño : 0.629

Cantidad de materiales por metro cúbico :

Cemento	307 $Kg/m^3$	Tipo I
Agua	193 L	:
Agregado fino	736 $Kg/m^3$	: Arena de río - Tres Tomas
Agregado grueso	1008 $Kg/m^3$	: Piedra Chancada - Tres Tomas

	Cemento	Arena	Piedra	Agua	
Proporción en peso :	1.00	2.40	3.29	26.69	Lts/ $pie^3$
Proporción en volumen :	1.00	2.34	3.29	26.69	Lts/ $pie^3$

*[Handwritten Signature]*  
 David Henry Bernilla Rodriguez  
 TÉCNICO DE LABORATORIO

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES  
 USAT  
  
 TÉCNICO DE LABORATORIO



**Tesista** : Bernilla Rodríguez David Henry  
**Solicitante** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Predicción de la resistencia a la compresión del concreto usando redes neuronales artificiales  
**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 27 de Octubre del 2023

**DISEÑO DE MEZCLA FINAL**  $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

**CEMENTO:**

- 1.- Tipo de cemento : Tipo I
- 2.- Peso específico : 3150 Kg/m<sup>3</sup>

**AGREGADOS :**

Agregado fino :

- Cantera : Arena de río - Tres Tomas
- 1.- Peso específico de masa : 2.526 gr/cm<sup>3</sup>
  - 2.- Peso específico de masa S.S.S. : 2.5517 gr/cm<sup>3</sup>
  - 3.- Peso unitario suelto : 1539 Kg/m<sup>3</sup>
  - 4.- Peso unitario compactado : 1782 Kg/m<sup>3</sup>
  - 5.- % de absorción : 1.0 %
  - 6.- Contenido de humedad : 1.5 %
  - 7.- Módulo de fineza : 2.890

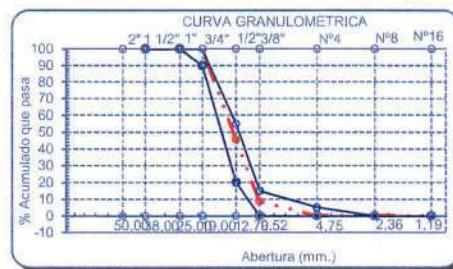
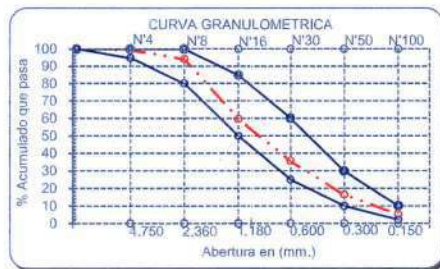
Agregado grueso :

- Cantera : Piedra Chancada - Tres Tomas
- 1.- Peso específico de masa : 2.579 gr/cm<sup>3</sup>
  - 2.- Peso específico de masa S.S.S. : 2.590 gr/cm<sup>3</sup>
  - 3.- Peso unitario suelto : 1551 Kg/m<sup>3</sup>
  - 4.- Peso unitario compactado : 1687 Kg/m<sup>3</sup>
  - 5.- % de absorción : 0.44 %
  - 6.- Contenido de humedad : 0.55 %
  - 7.- Tamaño máximo : 3/4" Pulg.
  - 8.- Tamaño máximo nominal : 1/2" Pulg.

**Granulometría :**

Malla	% Retenido	% Acumulado que pasa
3/8"	0.0	100.0
N° 04	0.5	99.5
N° 08	5.3	94.3
N° 16	34.6	59.7
N° 30	23.9	35.8
N° 50	19.3	16.5
N° 100	11.2	5.3
Fondo	5.3	0.0

Malla	% Retenido	% Acumulado que pasa
2"	0.0	100.0
1 1/2"	0.0	100.0
1"	0.0	100.0
3/4"	0.0	100.0
1/2"	54.5	45.5
3/8"	36.9	8.6
N° 04	8.7	0.0
N° 08	0.0	0.0
N° 16	0.0	0.0
Fondo	0.0	0.0



*Rodrigo Bernilla Rodríguez*  
 RIVIDE EN LA OBRA DE DAVID HENRY  
 TESIS DE LABORATORIO

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES  
**USAT**  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL



Expediente N° : LEM USAT 025-2023-II  
 Peticionario : Bernilla Rodríguez David Henry  
 Tesis : Predicción de la resistencia a la compresión del concreto usando redes neuronales artificiales  
 Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
 Fecha de emisión : Chiclayo, 27 de Octubre del 2023

DISEÑO DE MEZCLA FINAL  $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Resultados del diseño de mezcla :

Porcentaje promedio a los 28 días : 145 %  
 Factor cemento por M<sup>3</sup> de concreto : 9.1 bolsas/m<sup>3</sup>  
 Relación agua cemento de diseño : 0.557

Cantidad de materiales por metro cúbico :

Cemento	388 Kg/m <sup>3</sup>	Tipo I
Agua	212 L	:
Agregado fino	521 Kg/m <sup>3</sup>	: Arena de río - Tres Tomas
Agregado grueso	1121 Kg/m <sup>3</sup>	: Piedra Chancada - Tres Tomas

	Cemento	Arena	Piedra	Agua	
Proporción en peso :	1.00	1.34	2.89	23.26	Lts/pie <sup>3</sup>
Proporción en volumen :	1.00	1.31	2.80	23.26	Lts/pie <sup>3</sup>

*[Handwritten Signature]*  
 Bernilla Rodríguez David Henry  
 TÉCNICO DE LABORATORIO

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES  
 USAT  
*[Handwritten Signature]*



**Tesista** : Bernilla Rodriguez David Henry  
**Solicitante** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Predicción de la resistencia a la compresión del concreto usando redes neuronales artificiales  
**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 27 de Octubre del 2023

**DISEÑO DE MEZCLA FINAL**

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

**CEMENTO:**

- 1.- Tipo de cemento : Tipo I
- 2.- Peso específico : 3150 Kg/m<sup>3</sup>

**AGREGADOS :**

Agregado fino :

- Cantera : Arena de río - Tres Tomas
- 1.- Peso específico de masa : 2.526 gr/cm<sup>3</sup>
  - 2.- Peso específico de masa S.S.S. : 2.5517 gr/cm<sup>3</sup>
  - 3.- Peso unitario suelto : 1539 Kg/m<sup>3</sup>
  - 4.- Peso unitario compactado : 1782 Kg/m<sup>3</sup>
  - 5.- % de absorción : 1.0 %
  - 6.- Contenido de humedad : 1.5 %
  - 7.- Módulo de fineza : 2.890

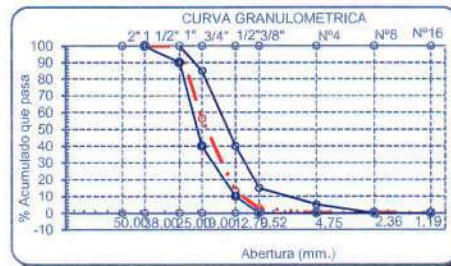
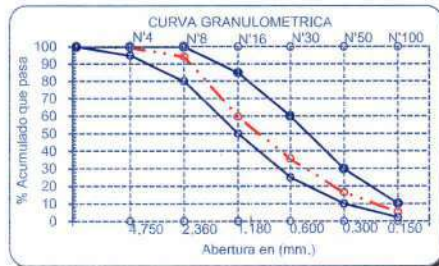
Agregado grueso :

- Cantera : Piedra Chancada - Tres Tomas
- 1.- Peso específico de masa : 2.461 gr/cm<sup>3</sup>
  - 2.- Peso específico de masa S.S.S. : 2.481 gr/cm<sup>3</sup>
  - 3.- Peso unitario suelto : 1501 Kg/m<sup>3</sup>
  - 4.- Peso unitario compactado : 1642 Kg/m<sup>3</sup>
  - 5.- % de absorción : 0.8 %
  - 6.- Contenido de humedad : 0.5 %
  - 7.- Tamaño máximo : 1" Pulg.
  - 8.- Tamaño máximo nominal : 3/4" Pulg.

**Granulometría :**

Malla	% Retenido	% Acumulado que pasa
3/8"	0.0	100.0
Nº 04	0.5	99.5
Nº 08	5.3	94.3
Nº 16	34.6	59.7
Nº 30	23.9	35.8
Nº 50	19.3	16.5
Nº 100	11.2	5.3
Fondo	5.3	0.0

Malla	% Retenido	% Acumulado que pasa
2"	0.0	100.0
1 1/2"	0.0	99.5
1"	0.0	100.0
3/4"	43.6	56.4
1/2"	43.2	13.3
3/8"	10.3	3.0
Nº 04	3.0	0.0
Nº 08	0.0	0.0
Nº 16	0.0	0.0
Fondo	0.0	0.0



*[Handwritten Signature]*  
 Rivedeneira Abilitas Henry  
 TÉCNICO DE LABORATORIO

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES  
**USAT**  
  
 TÉCNICO DE LABORATORIO



Expediente N° : LEM USAT 025-2023-II  
Petionario : Bernilla Rodriguez David Henry  
Tesis : Predicción de la resistencia a la compresión del concreto usando redes neuronales artificiales  
Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
Fecha de emisión : Chiclayo, 27 de Octubre del 2023

DISEÑO DE MEZCLA FINAL  $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Resultados del diseño de mezcla :


Porcentaje promedio a los 28 días : 140 %  
Factor cemento por  $M^3$  de concreto : 8.7 bolsas/ $m^3$   
Relación agua cemento de diseño : 0.557

Cantidad de materiales por metro cúbico :

Cemento	368 $Kg/m^3$	Tipo I
Agua	205 L	:
Agregado fino	642 $Kg/m^3$	: Arena de río - Tres Tomas
Agregado grueso	1008 $Kg/m^3$	: Piedra Chancada - Tres Tomas

	Cemento	Arena	Piedra	Agua	
Proporción en peso :	1.00	1.74	2.74	23.68	Lts/ $pie^3$
Proporción en volumen :	1.00	1.70	2.74	23.68	Lts/ $pie^3$

  
David Henry Bernilla Rodriguez  
TÉCNICO DE LABORATORIO





**Tesista** : Bernilla Rodríguez David Henry  
**Solicitante** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Predicción de la resistencia a la compresión del concreto usando redes neuronales artificiales  
**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 27 de Octubre del 2023

**DISEÑO DE MEZCLA FINAL**

$F'c = 245 \text{ kg/cm}^2$

**CEMENTO:**

- 1.- Tipo de cemento : Tipo I
- 2.- Peso específico : 3150 Kg/m<sup>3</sup>

**AGREGADOS :**

Agregado fino :

- Cantera : Arena de río - Tres Tomas
- 1.- Peso específico de masa : 2.526 gr/cm<sup>3</sup>
  - 2.- Peso específico de masa S.S.S. : 2.5517 gr/cm<sup>3</sup>
  - 3.- Peso unitario suelto : 1539 Kg/m<sup>3</sup>
  - 4.- Peso unitario compactado : 1782 Kg/m<sup>3</sup>
  - 5.- % de absorción : 1.0 %
  - 6.- Contenido de humedad : 1.5 %
  - 7.- Módulo de fineza : 2.890

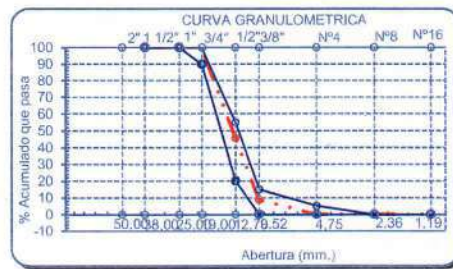
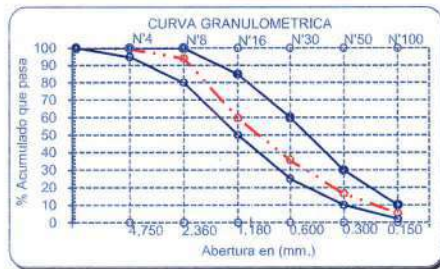
Agregado grueso :

- Cantera : Piedra Chancada - Tres Tomas
- 1.- Peso específico de masa : 2.579 gr/cm<sup>3</sup>
  - 2.- Peso específico de masa S.S.S. : 2.590 gr/cm<sup>3</sup>
  - 3.- Peso unitario suelto : 1551 Kg/m<sup>3</sup>
  - 4.- Peso unitario compactado : 1687 Kg/m<sup>3</sup>
  - 5.- % de absorción : 0.44 %
  - 6.- Contenido de humedad : 0.55 %
  - 7.- Tamaño máximo : 3/4" Pulg.
  - 8.- Tamaño máximo nominal : 1/2" Pulg.

**Granulometría :**

Malla	% Retenido	% Acumulado que pasa
3/8"	0.0	100.0
Nº 04	0.5	99.5
Nº 08	5.3	94.3
Nº 16	34.6	59.7
Nº 30	23.9	35.8
Nº 50	19.3	16.5
Nº 100	11.2	5.3
Fondo	5.3	0.0

Malla	% Retenido	% Acumulado que pasa
2"	0.0	100.0
1 1/2"	0.0	100.0
1"	0.0	100.0
3/4"	0.0	100.0
1/2"	54.5	45.5
3/8"	36.9	8.6
Nº 04	8.7	0.0
Nº 08	0.0	0.0
Nº 16	0.0	0.0
Fondo	0.0	0.0



*[Handwritten Signature]*  
 David Henry Bernilla Rodríguez  
 TÉCNICO DE LABORATORIO

USAT  
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES  
*[Handwritten Signature]*  
 TÉCNICO DE LABORATORIO



Expediente N° : LEM USAT 025-2023-II  
Peticionario : Bernilla Rodriguez David Henry  
Tesis : Predicción de la resistencia a la compresión del concreto usando redes neuronales artificiales  
Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
Fecha de emisión : Chiclayo, 27 de Octubre del 2023

DISEÑO DE MEZCLA FINAL  $F'c = 245 \text{ kg/cm}^2$

Resultados del diseño de mezcla :

Porcentaje promedio a los 28 días : 106. %  
Factor cemento por  $M^3$  de concreto : 10.0 bolsas/ $m^3$   
Relación agua cemento de diseño : 0.508

Cantidad de materiales por metro cúbico :

Cemento	425 $Kg/m^3$	Tipo I
Agua	212 L	:
Agregado fino	491 $Kg/m^3$	: Arena de río - Tres Tomas
Agregado grueso	1121 $Kg/m^3$	: Piedra Chancada - Tres Tomas

	Cemento	Arena	Piedra	Agua	
Proporción en peso :	1.00	1.15	2.64	21.23	Lts/ $pie^3$
Proporción en volumen :	1.00	1.13	2.55	21.23	Lts/ $pie^3$

  
Rivind... blitas Henry  
TÉCNICO DE LABORATORIO





**Tesista** : Bernilla Rodríguez David Henry  
**Solicitante** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Predicción de la resistencia a la compresión del concreto usando redes neuronales artificiales  
**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 27 de Octubre del 2023

**DISEÑO DE MEZCLA FINAL**

$F'c = 245 \text{ kg/cm}^2$

**CEMENTO:**

- 1.- Tipo de cemento : Tipo I
- 2.- Peso específico :  $3150 \text{ Kg/m}^3$

**AGREGADOS :**

Agregado fino :

- Cantera : Arena de río - Tres Tomas
- 1.- Peso específico de masa :  $2.526 \text{ gr/cm}^3$
- 2.- Peso específico de masa S.S.S. :  $2.5517 \text{ gr/cm}^3$
- 3.- Peso unitario suelto :  $1539 \text{ Kg/m}^3$
- 4.- Peso unitario compactado :  $1782 \text{ Kg/m}^3$
- 5.- % de absorción : 1.0 %
- 6.- Contenido de humedad : 1.5 %
- 7.- Módulo de fineza : 2.890

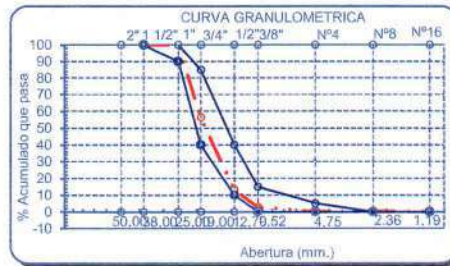
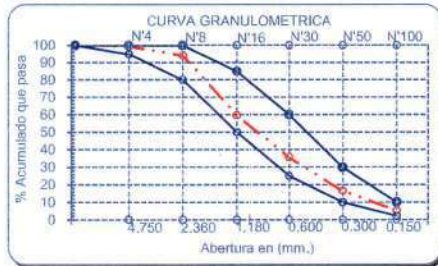
Agregado grueso :

- Cantera : Piedra Chancada - Tres Tomas
- 1.- Peso específico de masa :  $2.461 \text{ gr/cm}^3$
- 2.- Peso específico de masa S.S.S. :  $2.481 \text{ gr/cm}^3$
- 3.- Peso unitario suelto :  $1501 \text{ Kg/m}^3$
- 4.- Peso unitario compactado :  $1642 \text{ Kg/m}^3$
- 5.- % de absorción : 0.8 %
- 6.- Contenido de humedad : 0.5 %
- 7.- Tamaño máximo : 1" Pulg.
- 8.- Tamaño máximo nominal : 3/4" Pulg.

**Granulometría :**

Malla	% Retenido	% Acumulado que pasa
3/8"	0.0	100.0
Nº 04	0.5	99.5
Nº 08	5.3	94.3
Nº 16	34.6	59.7
Nº 30	23.9	35.8
Nº 50	19.3	16.5
Nº 100	11.2	5.3
Fondo	5.3	0.0

Malla	% Retenido	% Acumulado que pasa
2"	0.0	100.0
1 1/2"	0.0	100.0
1"	0.0	100.0
3/4"	43.6	56.4
1/2"	43.2	13.3
3/8"	10.3	3.0
Nº 04	3.0	0.0
Nº 08	0.0	0.0
Nº 16	0.0	0.0
Fondo	0.0	0.0



*[Handwritten Signature]*  
 David Henry Bernilla Rodríguez  
 TÉCNICO DE LABORATORIO

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES  
**USAT**  
*[Handwritten Signature]*  
 TÉCNICO DE LABORATORIO



Expediente N° : LEM USAT 025-2023-II  
 Peticionario : Bernilla Rodriguez David Henry  
 Tesis : Predicción de la resistencia a la compresión del concreto usando redes neuronales artificiales  
 Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
 Fecha de emisión : Chiclayo, 27 de Octubre del 2023

DISEÑO DE MEZCLA FINAL F'c = 245 kg/cm<sup>2</sup>

Resultados del diseño de mezcla :

Porcentaje promedio a los 28 días : 107 %  
 Factor cemento por M<sup>3</sup> de concreto : 9.5 bolsas/m<sup>3</sup>  
 Relación agua cemento de diseño : 0.508

Cantidad de materiales por metro cúbico :

Cemento	404 Kg/m <sup>3</sup>	Tipo I
Agua	205 L	:
Agregado fino	613 Kg/m <sup>3</sup>	: Arena de río - Tres Tomas
Agregado grueso	1008 Kg/m <sup>3</sup>	: Piedra Chancada - Tres Tomas

	Cemento	Arena	Piedra	Agua	
Proporción en peso :	1.00	1.52	2.50	21.62	Lts/pie <sup>3</sup>
Proporción en volumen :	1.00	1.48	2.50	21.62	Lts/pie <sup>3</sup>

  
 David Henry Bernilla  
 TÉCNICO DE LABORATORIO

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES  
 USAT  
  
 TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Bernilla Rodríguez David Henry  
Atención : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
Tesis : Predicción de la resistencia a la compresión del concreto usando redes neuronales artificiales  
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.  
Fecha de emisión : Chiclayo, 27 de Octubre del 2022  
Cantera : Tres tomas  
Código : N.T.P. 339.034 - 2008 / ASTM C-39/39M - 05  
Título : HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas

Muestra N°	Denominación ó descripción del vaciado	Fecha de Vaciado	Fecha de Ensayo	Días	f'c kg/cm2
1	CONCRETO 175 kg/cm2	1/06/2023	28/06/2023	28	203
2	CONCRETO 175 kg/cm2	1/06/2023	28/06/2023	28	195
3	CONCRETO 210 kg/cm2	19/09/2023	17/10/2023	28	305
4	CONCRETO 210 kg/cm2	19/09/2023	17/10/2023	28	293
5	CONCRETO 245 kg/cm2	1/06/2023	28/06/2023	28	259
6	CONCRETO 245 kg/cm2	1/06/2023	28/06/2023	28	263

**OBSERVACIONES :**

- Muestreo realizados por el solicitante.
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio.

  
David Henry Bernilla Rodríguez  
TÉCNICO DE LABORATORIO

  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES  
USAT  
  
TÉCNICO DE LABORATORIO