

**UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN  
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y DE SISTEMAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL  
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**



**RECICLADO DE CONCRETO PARA LA FABRICACIÓN DE CEMENTO EN  
LA EMPRESA UNACEM PERÚ S.A.**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: OTRAS INGENIERIAS Y TECNOLOGÍAS  
TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
INDUSTRIAL**

**TESISTA:  
REYES DORIA WALTER**

**ASESOR  
VILLAVICENCIO GUARDIA PEDRO GETULIO**

**HUÁNUCO - PERÚ  
2023**

## **DEDICATORIA**

A mi amada familia, por el apoyo moral constante. A mi esposa e hijas que me dieron muchas fortalezas en mis actividades académicas y laborales.

Walter Reyes Doria

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por guiarme siempre, en Especial a todo los profesionales y maestros del PROFI UNHEVAL por darme la oportunidad de presentar esta tesis y reforzar mis conocimientos en el área de la investigación. Agradecimiento a los funcionarios, técnicos, asistentes y a la empresa UNACEM Perú S.A.

## RESUMEN

En la investigación se tuvo como objetivo, obtener el cemento con la adición de residuos de concreto reciclado provenientes de demoliciones de viviendas y de probetas de concreto usadas que se pueda utilizar en la fabricación de cemento nuevo que cumple con las NTP y ASTM en la empresa UNACEM Perú S.A.

El tipo de investigación fue correlacional causal, el diseño de la investigación experimental con post prueba y grupo de control. Correspondió a la adición de concreto reciclado en proporciones del 10%, 20%; de los morteros, consideramos la resistencia a la compresión de 2100 psi/pulg<sup>2</sup> a 6300 psi/pulg<sup>2</sup>.

La población fue de 3kg de cemento ARC, la muestras de 2kg muestreadas de forma aleatoria al salir del molino de cada grupo de estudio, fueron elaborados los morteros de tres unidades por molde que media de 50mm x 50 mm en forma de cubos, obteniendo 36 muestras (12ud de GC, 12ud GE1 y 12ud del GE2) para ser ensayadas en edades de 1 día, 3 días, 7 días y 28 días.

En general el cemento se obtuvo de compuestos derivados de la caliza, y óxidos, mediante procesos físicos y químicos se transformaron en Clinker para luego pasar a ser molidos en conjunto con el yeso y obtuvimos un polvo fino de color gris. El cemento adicionado se obtuvo por la molturación de Clinker, yeso y otro material inerte como la puzolana, caliza y material inerte en este caso fue el concreto reciclado.

Los instrumentos que se emplearon en esta investigación para la recolección de datos son los reportes anteriores de los grupos de experimentos (GE1, GE2) y el grupo de control (GC).

Los resultados obtenidos en la formulación óptima del cemento es el cemento ARC al 10% de adición de RC con el 85% de Clinker y 5% de yeso, respondiendo con resultados más próximos al grupo de control en sus análisis de fisicoquímicos y resistencia a la compresión.

PALABRAS: Reciclado, Fabricación, Cemento.

## SUMMARY

The objective of the investigation was to obtain cement with the addition of recycled concrete residues from the demolition of homes and used concrete test tubes that can be used in the manufacture of new cement that complies with NTP and ASTM in the company. UNACEM PERU S.A.

The type of research was causal correlation, the design of the experimental research in its longitudinal form. It corresponded to the addition of recycled concrete in proportions of 10%, 20%; of the mortars, we consider the resistance to compression from 2100 psi/in<sup>2</sup> to 6300 psi/in<sup>2</sup> in addition

The population was 3kg of cement, the samples of 2kg sampled randomly when leaving the mill of each study group, the mortars of three units per mold were prepared, which averaged 50mm x 50mm in the form of cubes, obtaining 36 samples. to be tested at ages of one day, 3 days, 7 days and 28 days.

The cement was obtained from compounds derived from limestone, and oxides, through physical and chemical processes, were transformed into Clinker, then they were ground together with the gypsum and we obtained a fine gray powder. The added cement was obtained by grinding Clinker, plaster and other inert material such as pozzolan, limestone and inert material in this case was recycled concrete.

The instruments used in this research for data collection are the previous reports of the experimental groups (GE1, GE2) and the control group (GC).

The results obtained in the optimal formulation of the cement is the ARC cement with 10% addition of RC with 85% Clinker and 5% plaster, responding with results closer to the control group in their physicochemical analyzes and resistance to corrosion. compression.

WORDS: Recycling, Manufacturing, Cement.

# ÍNDICE

<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>ii</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>iii</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>iv</b>
<b>SUMARY</b> .....	<b>v</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>ix</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>x</b>
<b>ÍNDICE DE GRÁFICOS</b> .....	<b>x</b>
<b>INTRODUCCION</b> .....	<b>xi</b>
<b>I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	<b>1</b>
1.1 Fundamentación del problema.....	1
1.2 Formulación del problema.....	3
1.2.1 Problema general.....	3
1.2.2 Problemas específicos.....	3
1.3 Formulación de los objetivos.....	3
1.3.1 Objetivo general.....	3
1.3.2 Objetivos específicos.....	4
1.4 Justificación.....	4
1.5 Limitaciones.....	5
1.6 Formulación de hipótesis generales y específicas.....	5
1.6.1 Hipótesis general.....	5
1.6.2 Hipótesis específicas.....	6
1.7 Variables.....	6
1.8 Definición teórica y operacionalización de variables.....	8
1.8.1 Variable independiente: Reciclado de concreto.....	8
<b>II. MARCO TEORICO</b> .....	<b>10</b>
2.1 Antecedentes de la Investigación.....	10
2.1.1 Antecedentes Internacionales.....	10
2.1.2 Antecedentes Nacionales.....	13

2.1.3	Antecedentes regionales .....	15
2.2	Bases teóricas .....	16
2.2.1	Concreto .....	16
2.2.2	El concreto reciclado.....	16
2.2.3	Características.....	17
2.2.4	El cemento .....	18
2.2.5	Materias primas para elaborar cemento .....	23
2.2.6	Control de calidad en cemento .....	27
2.3	Bases conceptuales o definición de términos básicos .....	28
<b>III.</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>39</b>
3.1	Ámbito.....	39
3.2	Población y selección de la muestra.....	39
3.3	Nivel, tipo y diseño de estudio .....	40
3.3.1	Nivel.....	40
3.4	Métodos, técnicas e instrumentos.....	42
3.4.1	Métodos:.....	42
3.4.2	Técnicas .....	43
3.4.3	Instrumento:.....	43
3.5	Materiales y equipos .....	44
Materia prima:	.....	45
Insumos:	.....	45
3.5.1	Materiales y equipos en el proceso del cemento ARC .....	45
Equipos .....	.....	45
3.5.2	Materiales y equipos de ensayos fisicoquímicos de MP y del cemento ARC .....	45
3.5.3	Materiales y equipos de ensayos mecánicos.....	46
3.6	Proceso de molienda del cemento adicionado de reciclado de concreto..	47
3.6.1	Proceso de elaboración del cemento adicionado de reciclado de concreto al 10% .....	47
3.6.2	Proceso de molienda del cemento adicionado con reciclado de concreto al 20%. .....	49
3.7	Elaboración.....	51

3.7.1	Recepción de materia prima .....	51
3.7.2	Chancado .....	52
3.8	Elaboración de morteros .....	58
3.8.1	Recepción de la muestra .....	59
3.8.2	Homogenizado.....	59
3.8.3	Pesado.....	59
3.8.4	Amasado.....	60
3.8.5	Enmoldado.....	60
3.8.6	Desmoldado.....	60
3.8.7	Curado .....	60
3.8.8	Ruptura o compresión.....	61
3.9	Plan de tabulación y análisis de datos estadísticos .....	61
3.10	Consideraciones éticas .....	63
<b>IV.</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>65</b>
4.1	Formulación de adición óptima del RC para elaborar cemento .....	65
4.2	Realizando los ensayos fisicoquímicos de la MP y del cemento ARC .....	66
4.2.1	Ensayos físicos y químicos de las materias primas.....	66
<b>V.</b>	<b>DISCUSIÓN.....</b>	<b>79</b>
	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>82</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>87</b>



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Operacionalización de variables .....	9
<b>Tabla 2</b> Principales compuestos del cemento, fase mineralógica del Clinker .....	19
<b>Tabla 3</b> Requisitos Químicos del cemento.....	34
<b>Tabla 4</b> Requisitos físicos del cemento .....	35
<b>Tabla 6</b> Diseño de investigación, para identificar los elementos .....	41
<b>Tabla 7</b> Reportes mensuales de cemento .....	44
<b>Tabla 8</b> Reportes mensuales de cemento .....	54
<b>Tabla 9</b> Datos de los primeros ensayos de la materia prima .....	62
Tabla 10 Datos de primeros ensayos fisicoquímico del cemento RC .....	62
<b>Tabla 11</b> Plan estadístico y tabulación .....	63
<b>Tabla 12</b> Características fisicoquímicas del estudio de experimento .....	65
Tabla 13 Resultados de ensayo fisicoquímico de las materias primas .....	67
<b>Tabla 14</b> Resultados de ensayos del cemento adicionado al 10% .....	68
<b>Tabla 15</b> Resultados de ensayos del cemento adicionado al 20% .....	69
<b>Tabla 16</b> Resultados de ensayos del GC cemento Tipo I, sin adición.....	71
<b>Tabla 17</b> Resultados de análisis de varianza.....	72
<b>Tabla 18</b> Resultados de resumen del modelo.....	72
<b>Tabla 19</b> Resultados de las medias del intervalo de confianza.....	73
<b>Tabla 20</b> Resultados de las medias de agrupación tukey 95%.....	74
<b>Tabla 21</b> Resultados de la resistencia a la compresión .....	75
<b>Tabla 22</b> Resultados de análisis de varianza.....	76

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Proceso de reciclado de concreto .....	28
<b>Figura 2</b>	Proceso de cemento adicionado .....	30
<b>Figura 3</b>	Diseño de molienda de del cemento adicionado de reciclado de concreto ...	42
<b>Figura 5</b>	Proceso de molienda del cemento adicionado al 10% .....	47
<b>Figura 6</b>	Proceso de molienda del cemento adicionado al 20% .....	50
<b>Figura 8</b>	Recepción de materias primas.....	52
<b>Figura 9</b>	Chancado de la materia prima .....	52
<b>Figura 10</b>	Materia prima, chancada y dosificada .....	55
<b>Figura 11</b>	Laboratorio. Determinación de permeabilidad método Blaine .....	57
<b>Figura 12</b>	Proceso de elaboración de mortero .....	58
<b>Figura 13</b>	Elaboración y ruptura del mortero .....	61

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1</b>	Resultados de datos de ensayo fisicoquímico de las materias primas.....	67
<b>Gráfico 2</b>	Resultados de ensayo fisicoquímico de los parámetros de control .....	67
<b>Gráfico 3</b>	Resultados de ensayo fisicoquímico de Cemento RC .....	74
<b>Gráfico 4</b>	Ensayos de resistencia a la compresión del GE1, GE2 y GC .....	77

## INTRODUCCION

El uso que se le da al reciclado de concreto en mayor cantidad es como graba para agregados de concreto armado, siendo una mínima parte para elaborar cemento obteniendo a base del reciclado de concreto, en este estudio se utilizó este material como adición en el proceso de molienda del cemento por el método experimental y diseño de post - tes con grupo de control para para su comparación y análisis de los del nuevo cemento ARC obtenidos.

En el Capítulo I, el lector encontrará el planteamiento del problema una descripción de la realidad problemática que se desea abordar, como las demoliciones de concreto de las viviendas como residuos en desmontes ambientales.

En el Capítulo II, en el Marco Teórico se presenta los antecedentes, las Bases Teóricas que fundamentan esta investigación, reciclado de concreto y la respectiva fabricación de cemento.

En el Capítulo III, Metodológico precisa el tipo, nivel y diseño de la investigación teniendo en cuenta el control de la variable independiente en función a la variable dependiente, el ámbito, la población y la muestra de estudio.

En el Capítulo IV, se plantearon los resultados de acuerdo a los objetivos

En el Capítulo V, se realizaron las discusiones de estudio según los autores del tema.

## **I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1 Fundamentación del problema**

La industria cementera en el mundo lleva utilizando puzolana y escoria para elaborar cementos adicionados en base a que sus propiedades son únicas y definidas, pero a su vez producen costos elevados por su escasez. Los cementos y sus muchos tipos hechos con puzolana, escoria y caliza ya son conocidas sus características comunes ya sea en la resistencia y la durabilidad de todos los cementos, los más comunes por su consumo es el portland tipo I, IP y IPM en cantidades enormes para ser producidos concretos de construcciones de edificios, puentes, viviendas y todo lo que esta relacionados por la industria de la construcción, así generar grandes cantidades de desechos de concreto ocasionados por las demoliciones y construcciones. El cemento y el concreto son los materiales de construcción más utilizados; sólo en el año 2021 se consumieron 4,44 millones de toneladas, y se espera que para el 2050 la demanda mundial de estos productos se duplique. A lo largo de toda la historia, el cemento ha sido parte del hilo conductor para la construcción de ciudades e importantes obras de infraestructura como el Imperio Romano, el Canal de Panamá, el Empire States y el Cristo Redentor, además de acueductos, puentes y edificios; sin embargo, hoy nuestra industria enfrenta desafíos importantes de acumulación de residuos sólidos de concreto y demoliciones de viviendas antiguas que son desechados en los botaderos, ríos, mares y lagunas contaminando el medio ambiente (FICEM, 2021).

En la actualidad en México y Brasil se viene promoviendo la reutilización de estos subproductos de la industria de la construcción como el material del concreto

reciclado que se le ha considerado como material de desecho, pero últimamente se le viene dando un mayor valor por parte de la industria concretera como agregado reciclado de elaboración de nuevo concreto, pero este material no es aprovechado en su totalidad, en el caso de una persona que se encuentre con este subproducto no sabe con exactitud cómo reutilizarlo.

La gran cantidad de residuos de concreto generados en el proceso de la construcción, requieren de una disposición ambiental, específicamente los resultantes tanto de los de cilindros de ensayos de laboratorio como de sobrantes de cilindros fallados. En la ciudad de Bogotá la producción de concreto premezclado fue de 480,9 miles de metros cúbicos al mes (DANE, 2021).

En el Perú no existe una norma técnica con exactitud que nos puede indicar con el manejo de estos residuos, pero si existe la NTP334.090-2020 de Cementos Hidráulicos Adicionados y Requisitos para elaborar cementos adicionados con escoria, puzolanas y material inerte o el empleo del concreto reciclado como adición al nuevo cemento adicionado de concreto reciclado. Aprovechar el concreto reciclado significaría costos en materia de transporte en los rellenos sanitarios y botaderos informales, tiempos en almacenamiento y costos en el personal que se encarga de la gestión de tratamiento del subproducto, además se debe cumplir con la normativa en el manejo de desechos de concreto, lo que ocasiona pérdida de tiempo si no se conoce la información; el país debe estar a la vanguardia de promover el desarrollo urbano sostenible, reutilizando materiales como el concreto reciclado para la elaboración del cemento; la única desventaja es el proceso de trituración que se debe llevar a cabo para la reutilización del concreto reciclado como un material semejante al cemento adicionado tradicional, como normalmente se encuentra en los botaderos informales; reutilizarlo en el caso de construcción de vías es muy sencillo, todas las empresas cementeras poseen chancadoras con la cual se puede realizar el proceso de trituración de concreto y reutilizarlo para elaborar cemento. Por lo

tanto, la generación de residuos de la construcción es un problema, que, por su volumen y flujo, afecta directamente la perspectiva ambiental, social y económica, por el constante desarrollo en las áreas urbanas y el crecimiento poblacional presente en las diferentes ciudades.

La empresa UNACEM Perú S.A., dedicado a la fabricación y comercialización de cemento, se vio la posibilidad de crear un nuevo cemento, pero con una nueva materia prima que es el concreto reciclado en conjunto con el Clinker y yeso el cual es esencial en este proceso de fabricación del cemento adicionado.

## **1.2 Formulación del problema**

### 1.2.1 Problema general

¿Cuáles son los parámetros de RC para la fabricación de cemento ARC en la empresa UNACEM Perú S.A.?

### 1.2.2 Problemas específicos

PE1 ¿Cuál es la formulación de adición óptima del RC para elaborar cemento?

PE2 ¿Cuáles son los análisis fisicoquímicos de la MP y del cemento ARC?

PE3 ¿Cómo determinar el ensayo de resistencia a la compresión del cemento ARC?

## **1.3 Formulación de los objetivos**

### 1.3.1 Objetivo general

Obtener el cemento ARC en la empresa UNACEM Perú S.A.

### 1.3.2 Objetivos específicos

- Formular la adición óptima del RC para elaborar cemento.
- Realizar ensayos fisicoquímicos de la MP y del cemento ARC.
- Determinar ensayos de resistencia a la compresión del cemento ARC.

## 1.4 Justificación

A partir de lo expuesto en el apartado anterior, a continuación, resulta de vital importancia exponer las razones que hacen necesaria la realización de la presente investigación.

Las poblaciones aledañas no están ajena al impacto de la contaminación del medio ambiente ocasionados por los escombros de concreto y su industria, por otro lado, estas instituciones cobran mayor fuerza en el tema concientizando su impacto para mitigar los efectos ambientales mediante las nuevas propuestas de mejora en sus procesos de producción.

Toda empresa dedicada a este rubro debe contar con un plan de reciclado o reusó del concreto y mantener un ambiente limpio y en armonía con las personas que trabajan en ella y en conjunto con las poblaciones aledañas y las ciudades.

Este estudio es viable, pues se dispone de equipos y fuentes de información que son necesarios para concluir la investigación de una manera más sencilla y concreta.

Beneficia a toda empresa que se dedique a elaborar el cemento y otros derivados que provengan del concreto reciclado que

proviene de las demoliciones, escombreras y botaderos informales.

El estudio tiene una utilidad metodológica de recolección y proceso, que se puede estudiar más sobre el tema de investigación nueva, ya que tiene una relación directa con el medio ambiente y la industria de la construcción.

Para el aspecto disciplinario el estudio busca Contribuir que se realicen a nivel nacional en el tema del concreto reciclado para elaborar cementos y así disminuir los costos de producción, las emisiones de CO<sub>2</sub> y los escombros de concreto en el medio ambiente.

## **1.5 Limitaciones**

Deficiencia en transporte para el traslado del desmonte de concreto hacia la planta procesadora, por encontrarse lejos de la ciudad. Para este estudio se tomaron los concretos usados en los ensayos de probeta en el control de concreto que se realiza en la empresa de forma constante, compuestos por cemento puzolánico, piedras de caliza chancada y arena fina de río.

### **Formulación de hipótesis generales y específicas**

#### **1.5.1 Hipótesis general**

Ho : Los parámetros de RC no permiten la fabricación de cemento en la empresa UNACEM Perú S.A.

Hi : Los parámetros de RC permiten la fabricación de cemento en la empresa UNACEM Perú S.A.



### 1.5.2 Hipótesis específicas

H1o: La adición óptima de RC no permiten la fabricación de cemento en la empresa UNACEM Perú S.A.

H1i: La adición óptima de RC permiten la fabricación de cemento en la empresa UNACEM Perú S.A.

H2o: Los ensayos fisicoquímicos de la MP y del cemento ARC no permiten la fabricación de cemento en la empresa UNACEM Perú S.A.

H2i: Los ensayos fisicoquímicos de la MP y del cemento ARC permiten la fabricación de cemento en la empresa UNACEM Perú S.A.

H3o: Los ensayos de la resistencia a la compresión del cemento ARC no permiten la fabricación de cemento en la empresa UNACEM Perú S.A.

H3i: Los ensayos de la resistencia a la compresión del cemento ARC permiten la fabricación de cemento en la empresa UNACEM Perú S.A.

## 1.6 Variables

### 1.6.1 Variable independiente

Como variable independiente es el “reciclado de concreto”

Sub variables

A. Proceso de Reciclado de Concreto

### Indicadores

- Escombros
- Clasificación
- Transporte
- Trituración
- Acopio

### B. Ensayos

#### Indicadores

- Físicos
- Químicos

### 1.6.2 Variables dependientes

Como variable dependiente es la “fabricación de cemento”

#### Sub variables

### A. Proceso de molienda de Cemento

#### Indicadores

- Dosificación
- Molienda
- Almacenado
- Embolsado

### B. Ensayos

#### Indicadores

- Físicos
- Químicos
- Resistencia a la compresión

## **1.7 Definición teórica y operacionalización de variables**

### **1.7.1 Variable independiente: Reciclado de concreto**

A. Definición conceptual: El reciclado de concreto “es el concreto de desecho que es reutilizado o recuperado para su uso en un nuevo producto de concreto o cemento”. Federación Internacional de cementos (FICEM, 2020, p.52)

B. Definición operacional: La variable son analizadas mediante los datos obtenidos de los ensayos físicos y químicos determinados por los equipos de laboratorio según sus dimensiones, indicadores e Ítem con tipo de variable cuantitativa y escala según corresponde.

### **1.7.2 Variable dependiente: Fabricación de cemento**

A. Definición conceptual: La fabricación del cemento “es el proceso que inicia con la explotación de la caliza, arcilla y óxido de hierro para ser transportada hacia la chancadora y ser reducido a un tamaño de 5 cm para seguir su destino hacia las tolvas de alimentación, después seguir su destino hacia el molino de crudo para ser pulverizado y ser transportado hacia los silo de homogenización y después ser enviados por tuberías y aire comprimido hacia la torre de precalcinación alcanzando una temperatura de 900°C, luego bajar por intercambiadores de calor hacia el horno giratorio para calcinarse a una temperatura de 1450 °C que sale como Clinker y luego pasar al enfriador, después ser almacenados en canchas de almacenamiento y ser

transportados por fajas hacia el molino de bolas para ser pulverizado en conjunto con el yeso, y por ultimo ser almacenados en silos para ser despachado en bolsas de 42,5 kg y a granel” (Asocem, 2020)

B. Definición operacional: La variable será analizados desde el proceso mediante los ensayos físicos y químicos determinados por los equipos de laboratorio para ser evaluados según sus dimensiones, indicadores e Ítem con el tipo de variable cuantitativa y escala según corresponde de la fabricación de cemento asi como se muestra en la tabla N°1.

**Tabla 1**

*Operacionalización de variables*

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍTEMS	INSTRUMENTOS	TIPO DE VARIABLES	ESCALA
VI = V1 Reciclado de Concreto	Proceso de Reciclado de Concreto	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Escombros</li> <li>• Clasificación</li> <li>• Transporte</li> <li>• Trituración</li> <li>• Acopio</li> </ul>	Kg Cm Kg Cm Kg	Fichas de recolección de datos	Cuantitativa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 5 a 10kg</li> <li>• 10 a 20kg</li> <li>• 10 a 20kg</li> <li>• 5 a 7cm</li> <li>• 10kg</li> </ul>
	Ensayos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Físicos</li> <li>• Químicos</li> </ul>	% %	Ficha de recolección de datos	Cuantitativa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 5g a 10g</li> <li>• Según MP</li> </ul>
VD = V2 Fabricación de cemento	Proceso de Molienda de Cemento ARC	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dosificación</li> <li>• Molienda</li> <li>• Almacenado</li> <li>• Embolsado</li> </ul>	kg kg kg kg	Ficha de recolección de datos	Cuantitativa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 100 a 150</li> <li>• 15000</li> <li>• 42.5 a 1000</li> </ul>
	Ensayos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Físicos</li> <li>• Químicos</li> <li>• Resistencia a la Compresión</li> </ul>	Cm2/gr % Psi	Ficha de recolección de datos	Cuantitativa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 a 5</li> <li>• según tipo</li> <li>• según tipo</li> </ul>

## II. MARCO TEORICO

### 2.1 Antecedentes de la Investigación

En este capítulo tratamos sobre los antecedentes de los otros autores que estudiaron sobre la obtención del cemento y el reciclado de concreto para elaborar cemento u otros productos.

#### 2.1.1 Antecedentes Internacionales

De acuerdo con Navarro Ferrer Francisco (2022), para alcanzar la sustitución parcial o total de las materias primas convencionales por otros materiales o residuos en la elaboración del cemento y conseguir un material de construcción más sostenible con bajo consumo de hidrocarburos y materias primas nativas que la producción de cemento tradicional que es la responsable del 5 al 7% de las emisiones de CO<sub>2</sub> en la atmosfera, que está constituido por el 65% de los gases de efecto invernadero emitidos en el mundo. Los silicatos son materias primas importantes debido al alto porcentaje que atribuye la composición química del cemento, ya que suman el 60 y el 80% de la totalidad y son los responsables de altas resistencias mecánicas del concreto que se debe aplicar directamente a la producción del cemento, mediante el chancado y pulverizado de diversos materiales aluminosos. El aumento de los SCM (materiales suplementarios) en el cemento puro afecta a la resistencia a la compresión, se puede solucionar moliendo los materiales a tamaños micro y nano, además usando activadores químicos podemos mejorar más la resistencia a la compresión.

Según la Agrupación de Fabricantes de Cementos en España (OFICEM, 2021) indica en su informe, que debemos promover el reciclaje de concreto como un tema de interés y reflexión a favor del medio ambiente, profundizando y promoviendo la meta de cero vertimientos de desechos de concreto a los afluentes, ríos y vertederos de basura. Es importante anotar que los productores de cemento sólo ejercen una influencia indirecta en el apoyo de esta meta. El desarrollo sostenible es posible utilizando concreto para obtener otros productos empleando buenos diseños de renovación, construcción y demolición cuidadosa, se estima que, en el mundo, se fabrican alrededor de 25 billones de toneladas de concreto cada año, por el mismo desarrollo urbano y el crecimiento poblacional que dan a la necesidad de tener un lugar donde vivir. Los concretos recuperados a partir del reciclado de concreto pueden ser triturados y utilizados como agregado en la industria de la construcción. Su uso más común es como subbase vial, también puede ser utilizado en concreto nuevo y en cementos como un material adicionado. No es posible separar el contenido de cemento en el concreto armado para su reciclado o reutilización como un nuevo cemento, por lo que no es posible reducir las emisiones de carbono por medio del reciclaje de concreto, solo triturar el concreto de forma conjunta y elaborar otro nuevo concreto adicionando cemento o también elaborar cemento adicionando Clinker y yeso. La recuperación completa del concreto proveniente de construcciones y demoliciones sólo abastecería el 20% del total de la necesidad en agregados en el mundo.

Viviana Bonavetti (1998) menciona en su estudio de investigación que la incorporación de hasta 20 % de filler calcáreo al Clinker portland no afecta la resistencia a la compresión en la producción del cemento adicionado que poseen las pastas. Se sabe que la

mayor ganancia de resistencia con respecto al patrón se obtiene, en la mayoría de las muestras, en el período de 3 y 28 días. Empieza la disminución de la ganancia de resistencia a edades avanzadas que pone en evidencia del efecto filler perdiendo la importancia a medida que transcurre el tiempo de hidratación y el efecto de dilución se hace cada vez más preponderante. En consecuencia, las propiedades mecánicas que tendrá un cemento portland con filler calcáreo será en función exclusiva de la competencia entre estos dos efectos. Por lo tanto, en función de lo expuesto podemos determinar que el reemplazo parcial de cemento por filler produce dos efectos favorables que pueden incrementar la resistencia acelerando la hidratación del cemento y la disminución de la macro porosidad abierta. En conclusión, la resistencia puede disminuir por el efecto de dilución del cemento ocasionado por el filler. En tal caso de todos estos factores la que determinará es la cantidad de filler que se puede reemplazar por cantidad de Clinker para obtener propiedades mecánicas deseadas.

Navarro Ferrer Francisco (2022) señala en su trabajo de investigación que el cemento se obtiene mediante un proceso de des carbonatación del crudo a través de la clinkerización, donde se calcina la piedra caliza que está formada principalmente por  $(\text{CaCO}_3)$  a unos  $900^\circ\text{C}$  con el objetivo de convertirse en óxido de calcio o cal  $(\text{CaO})$ , liberando  $\text{CO}_2$  en el proceso de pre calcinación, en el horno la cal reacciona a temperaturas de  $1450^\circ\text{C}$  con el sílice  $(\text{SiO}_2)$ , alúmina  $(\text{Al}_2\text{O}_3)$ , y óxidos de hierro  $(\text{Fe}_2\text{O}_3)$ , para producir aluminatos de calcio, silicatos de calcio y ferrita de calcio, que son los principales componentes del Clinker. El proceso de des carbonatación empieza en la entrada de la torre de pre calcinación llamado intercambiadores de ciclones, donde se introduce el crudo y la reacción química que se lleva a cabo es:  $\text{CaCO}_3 + \text{O} \rightarrow \text{CaO} +$

CO<sub>2</sub>. Este tipo de producción del cemento se puede modificar a un sistema más amigable con el medio ambiente que no sea a base de cemento portland. Existen varias formas tales como escorias activadas con álcalis, cenizas volantes, o arcillas calcinadas (LC3), escorias activadas al sulfato, CSS (cementos super sulfatados) o cementos puzolánicos. Pero una alternativa prometedora con bajas emisiones de dióxido de carbono en la producción del Clinker es a base de sulfoaluminato de calcio C<sub>4</sub>A<sub>3</sub>S CSA (cemento sulfoaluminato cálcico). En el CPO (cemento portland ordinario) sus propiedades tienen que ver, principalmente con los hidratos de silicato de calcio. En esta nueva alternativa, son los hidratos de sulfato de aluminato de calcio los que generan grandes resistencias mecánicas. A continuación, se mencionan las características más interesantes sobre este tipo de cementos en comparación con el CPO. La comparación de las composiciones entre el Clinker del CPO y CSA. Los principales componentes del Clinker CPO son alita (Ca<sub>3</sub>SiO<sub>5</sub>, 65% aprox.), belita (Ca<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>, 15% aprox.), ferrita (Ca<sub>4</sub>Al<sub>2</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>10</sub>, 10% aprox.) y aluminato tricalcico (Ca<sub>3</sub>Al<sub>2</sub>O<sub>6</sub>, 10% aproximados en peso). El uso de los desechos cerámicos de inodoros y lavaderos sanitarios a proporciones de 3%, 5%, 7% 10% y 15% en proporciones del cemento para elaborar los morteros de concreto. El uso óptimo de residuo de cerámico fue el 10% de la sustitución parcial del concreto, se pudo observar que a edades tempranas aumenta la resistencia a la compresión y luego los valores aumentan levemente.

### 2.1.2 Antecedentes Nacionales

La Asociación de Productores de Cementos (ASOCEM, 2018), mencionan que las adiciones con material inorgánico que se incorporan al Clinker para una molienda conjunta o independiente



se da prioridad al cuidado del medio ambiente usando cada vez menos combustibles fósiles y recursos naturales, por esta razón usando cementos adicionados se logra disminuir la huella de carbono. Las adiciones activas del cemento son de escorias de alto horno, por tener propiedades hidráulicas y similitud, las puzolanas naturales y artificiales por su mayor contenido de óxido de sílice y Como adiciones inertes, actualmente de gran uso, están los fillers, conocidos como calizas se debe considerar afines al Clinker por su composición y constitución. Estas adiciones reaccionan químicamente con los hidróxidos de calcio, alcanzando la resistencia de los concretos más alto a largo plazo, teniendo así una mayor durabilidad en la industria de la construcción.

Según (Yosselin Lizzet Chungas Tucto, 2018), concluye que la influencia del concreto reciclado como agregado en la calidad de los bloques prefabricados para verificar la sustitución del agregado natural por el agregado reciclado cumple con los requisitos de resistencia a la compresión de un bloque de concreto. Los ensayos de compresión de especímenes primas rectangular se realizaron a 7, 14 y 28 días, se comparó las resistencias obtenidas del concreto patrón con el concreto reciclado en 20% y 50% donde presentan comportamientos parientes al concreto patrón ya que la resistencia requerida mínima por la norma E-0.70 es de 50 kg/cm<sup>2</sup> y sus resistencias alcanzadas exceden a lo estandarizado tanto para el concreto patrón como para el concreto reciclado. Sin embargo, con la sustitución del 80% del agregado reciclado presenta comportamiento menor para el que fue diseñado, pero se encuentra dentro del rango de lo estandarizado por la norma esto lleva a concluir que con los porcentajes menores de sustitución su resistencia a compresión es confiable mientras que la de mayor sustitución es poco recomendable su uso que con la sustitución del

80% de agregado reciclado en los bloques presentan regular porcentaje de vacíos , alta capacidad de absorción y menor peso específico.

Vega Garro Marcelo Junior (2019) indica que la relación de resistencia a la compresión del concreto elaborado con cementos adicionados y la acción de sulfatos encontramos resultados de resistencias variadas por cada diferente cantidad de sulfatos en la etapa de exposición, con el fin de conocer la relación de resistencia del concreto de mediana resistencia frente al ataque de sulfatos. Los procedimientos planteados en la presenta investigación consistieron en someter las muestras en diferentes cantidades de sulfatos, para un tiempo de inmersión de 28 y 45 días. Posteriormente fueron ensayadas en el laboratorio LEM-UNI. Dentro de los resultados se lograron evidenciar que no existe perdida en la resistencia de los diferentes concretos frente al grado y periodo de exposición en sulfatos, obteniendo aumento de resistencias de 6.53% para las muestras elaborada con cemento "HS" expuestas en su estado más crítico de cantidad muy severa y aumento de 6.97% para las muestras elaboradas con cemento "SOL" en un grado severo, según el estudio los cementos adicionado responden mejor la resistencia a la compresión sin ser afectados por los ataques de los sulfatos.

### 2.1.3 Antecedentes regionales

De acuerdo con Erick Eloy Galván Arias (2018), refiere evaluar el uso de agregados reciclados en la construcción de viviendas básicas en la provincia de Huancayo que se verificó que si es posible el uso del concreto reciclado en la construcción de viviendas básicas en la Utilizaron porcentajes del 25 %, 50 % y 100 % de agregados fino y gruesos reciclados. Se empleo la metodología

experimental. Como conclusión principal se tuvo que, técnicamente el uso del concreto reciclado no difiere significativamente del concreto convencional; sin embargo, representa un alto costo de producción, económica este no es viable para la construcción de viviendas básicas en la provincia de Huancayo.

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 Concreto**

Según (Jua Luis Cottier Caviedes 2019), en su obra de tecnología del concreto define al concreto como una piedra artificial que está compuesto por el 25% de pasta de cemento, 75% de agregados grueso y fino y el 2% de aire atrapado. El cemento reacciona con el agua y los agregados también participan activamente en la formación y vida útil del concreto. que se caracteriza por su resistencia, durabilidad, versatilidad que le hace el material de construcción más usado a través de la historia de la construcción, por la misma necesidad del hombre de tener una vivienda donde vivir.

### **2.2.2 El concreto reciclado**

Es el concreto usado que es recuperado por medios mecánicos mediante la trituración y pulverización de tamaños requeridos para elaborar nuevo concreto (Cristian cuenca, Eddy. 2011). Su utilización en la construcción como concreto nuevo es estudiado por diversos investigadores evidenciando la leve caída en la resistencia por la presencia de cierta porosidad y vacíos internos que forma la debilidad del concreto.

Historia

Empezó a principio de la década de los 40 del siglo XX después de la segunda guerra mundial por la reconstrucción de las ciudades del continente europeo, mezclando agregados de escombros de concreto y agregado natural elaboraron el nuevo concreto para disminuir costos. A fines de los 80 las leyes ambientales se consolidan por la preocupación de la contaminación y el manejo indiscriminados de los recursos naturales que generaban las industrias, exigiendo el manejo y control de sus emisiones y residuos de efecto invernadero al medio ambiente (FICEM 2020 Federación Interamericana de cemento)

### 2.2.3 Características

Se caracterizan por ser rocas áridas y artificiales que están formados por la hidratación del cemento y por la acción de reacción con el agua, por su durabilidad, versatilidad de diferentes formas y tamaños según su utilidad que se le emplea.

#### Importancia

Por disminuir el uso de agregados naturales como el hormigón, por ser más amigable con el medio ambiente, por contribuir en el ahorro de energía y disminuir costos de producción (José Pineda).

#### Aplicación

Su aplicación principal es en la industria de la construcción y en la industria de pavimentos como agregado de sub bases.

#### Procedimiento del reciclado de concreto

El procedimiento de reciclaje del concreto, inicia con los escombros del hormigón que son llevados a una planta de reciclaje para ser triturados por las máquinas de chancado, se requiere que estén libres de otros materiales (José Pineda, T.S.U En Evaluación Ambiental).

#### 2.2.4 El cemento

Son materiales inorgánicas y artificiales que forman conglomerantes hidráulicos, donde molidos finamente y convenientemente amasados con agua forman pastas que fraguan y endurecen a causa de las reacciones de hidrólisis e hidratación de sus propiedades, norma europea (UNE-EN 197-1:2011).

Argos (2019), describe que el cemento está compuesto por Clinker y yeso, además con otras adiciones inorgánicas que se desea agregar según el tipo de cemento a producir donde la composición química y las fases del Clinker proporcionan diferentes propiedades como altas resistencias, tempranas o resistencia a los sulfatos son explicadas directamente por el porcentaje de las fases que contiene el cemento, por esta razón es importante entender cuáles son las fases y sus propiedades que veremos a continuación:

- ❖ Alita: Compuesta por silicato tricálcico y la fase principal ya que constituye del 50% al 70% del Clinker, genera alto calor de hidratación y es responsable, en gran parte, por el inicio de fraguado y las resistencias tempranas.
- ❖ Belita: Compuesta de silicato di cálcico constituyendo entre el 15% y el 30% del Clinker, a comparación de la alita la belita tiene un bajo calor de hidratación y se hidrata y endurece de manera más lenta así que contribuye a las resistencias a partir de los 7 días.

- ❖ Aluminato: Es lo que contiene entre el 5% y 10% de este compuesto en el Clinker, que libera mucha cantidad de calor (207 cal/g) durante los primeros días de hidratación y endurecimiento, además es vulnerable a la acción de los sulfatos que Forman productos expansivos como la (etringita  $\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12}\cdot 26\text{H}_2\text{O}$  o sulfoaluminato de calcio) provocando el desarrollo de la resistencia prematura en el fraguado del cemento.
- ❖ Celita o compuestos de aluminato: La fase compuesta principalmente por el aluminato tricálcico genera un alto calor de hidratación. La cual constituye del 5% al 10% del Clinker.

**Tabla 2**

*Principales compuestos del cemento, fase mineralógica del Clinker*

Nombre	Formula	Abreviatura	Nombre del mineral
Silicato tricálcico	$3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	$\text{C}_3\text{S}$	Alita
Silicato dicálcico	$2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	$\text{C}_2\text{S}$	Belita
Aluminato tricálcico	$3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{C}_3\text{A}$	Aluminato
Ferroaluminato tetracálcico	$4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{C}_4\text{AF}$	Celita o ferrita

*Nota.* Tomada de Argos,

### Historia del cemento

La historia del cemento se viene dando desde los años 7000 antes de Cristo, así como en Egipto que se usó pastas obtenidas con

mezcla de yesos y calizas disueltas en agua para unir con piedras en los años 2570 a.C., la misma técnica se empleó en 1950 a.C. en la construcción mural de Tebas. Los romanos en los años 400 ac. usaron las cenizas volantes naturales proveniente del monte Vesubio combinando 2 partes estas, una parte de cal, grasas, leche y sangre que formaron una pasta que se endurece y realizaron grandes obras como el coliseo Romano, teatro Pompeya y otros. Pero la historia cambio cuando el ing. británico John Smeaton empleó nuevamente el cemento romano para la reconstrucción del faro Eddystone, en Cornwall, Gales, Reino Unido, siendo la tercera vez en reconstruir el faro Smeaton decidió estudiar para dar mejor solución para el faro que pueda soportar el azote casi continuo del agua, debía ser empleando piedra unida con un mortero producido con cal calcinada para soportar las olas del agua de mar en 1759 que duro hasta 1876 y después fue remplazado por otro más grande y su base sigue hasta ahora como monumento. El 21 de octubre de 1824 Joseph Aspdin y James Parker patentaron el primer material que se conocería como Cemento Pórtland, obtenido a partir de piedra de caliza arcillosa y carbón, calcinados a alta temperatura. El nombre se debió a la semejanza del color del producto con el de las rocas de la isla de Pórtland en el Reino Unido. La primera fábrica de cemento se instaló en Wakefield y funcionó entre 1826 y 1828, siendo luego demolida para dar paso a una vía férrea, en la actualidad no a cambiado casi nada solo su tecnología de proceso para elaborar diferentes tipos y colores. Según (Argos 2019)

Tipos de cemento

Para este estudio tomamos los siguientes tipos de cemento según

sus características de uso del material.

- ❖ Tipo I: Este tipo de cemento es de uso general, con una composición del 95% de Clinker y solo el 5% de yeso para retardar el fraguado, que son usados en construcciones de viviendas, edificios, puentes, calles, etc.
- ❖ Tipo II: Es usado para concretos de exposición moderado a los sulfatos y cloruros, con calor de hidratación moderado, se elabora con Clinker tipo II al 95% y yeso en 5% usado diferentes tipos de construcciones según características expuestas.
- ❖ Tipo v: Es el cemento con alta resistencia a la acción de los sulfatos con una composición de 95% de Clinker tipo V y 5% de yeso, con un calor de hidratación moderada. Usos en obras portuarias expuestos en aguas marinas, estructuras de canales alcantarillado en contacto con suelos ácidos, etc.
  
- ❖ Cementos adicionados: De acuerdo con la NTP y ASTM (2011), el cemento portland obtenido en molienda pulverizada de forma conjunta de Clinker portland con escoria es (tipo IS), con puzolana es (tipo IP), con caliza y otros materiales inertes es (tipo ICo) adicionados con un máximo del 30% de materiales mencionado de forma independiente obteniendo cemento adicionado de uso general para albañilería, se puede agregar más cantidades previos estudios demostrativos con la NTP.



**Tabla 3***Tipos de cementos*

Cementos hidráulicos	Tipos	Denominación
Cementos Portland	Tipo I	Cemento Portland de uso general.
	Tipo II	Cemento Portland de uso general de moderada resistencia a los sulfatos.
	Tipo III	Cemento Portland de alta resistencia inicial.
	Tipo IV	Cemento Portland de bajo calor de hidratación.
	Tipo V	Cemento Portland de alta resistencia a los sulfatos.
Cementos hidráulicos adicionados	Tipo IS	Cemento Portland con escoria de alto horno.
	Tipo IP	Cemento Portland puzolánico.
	Tipo I (PM)	Cemento Portland puzolánico modificado.
	Tipo IL	Cemento Portland caliza.
	Tipo IT	Cemento adicionado ternario.
	Tipo ICo	Cemento Portland compuesto.
Cementos hidráulicos especificado por desempeño	Tipo GU	Cemento Hidráulico de uso general.
	Tipo HE	Cemento Hidráulico de alta resistencia inicial.
	Tipo MS	Cemento Hidráulico de moderada resistencia a los sulfatos.
	Tipo HS	Cemento Hidráulico de alta resistencia a los Sulfatos.
	Tipo MH	Cemento Hidráulico de moderado calor de Hidratación.
	Tipo LH	Cemento Hidráulico de bajo calor de hidratación.

*Nota.* Tomada de la publicación oficial de El Peruano sobre la NTP del cemento (2022).

## 2.2.5 Materias primas para elaborar cemento

### La caliza

Son rocas sedimentarias inorgánicas que están compuestas de calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) en mayor cantidad que se formaron por medios de procesos bioquímicos con el transcurso del tiempo.

Según Geotecnia (2020), menciona que la piedra caliza es, por definición una roca que contiene al menos el 50% de carbonato de calcio en forma de calcita por peso. Todas las calizas contienen al menos un pequeño porcentaje de otros materiales. Donde tienen proporciones mínimas de partículas de cuarzo, feldespato o minerales arcillosos que llegan al lugar de formación por medio de las corrientes de las olas marinas. Las partículas de pirita, siderita y otros minerales que pueden formar la piedra compuesta llamada caliza mediante procesos químicos.

### La arcilla

Rafael Talero Morales (2020) describe que son rocas sedimentarias constituida por agregados de silicatos de aluminio hidratados como minerales de la arcilla pertenecientes al grupo de los filosilicatos y se presentan en cristales muy pequeños, de tamaño micrométrico y de hábito laminar o fibroso. Desde un punto de vista químico, son aluminosilicatos hidratados, procedentes de la alteración química de rocas ígneas y metamórficas y se incorporan a las rocas sedimentarias como minerales detríticos. El resto se forma en determinados ambientes sedimentarios y pedogenéticos o bien durante la diagénesis. Durante el ciclo sedimentario, los minerales de las arcillas pueden sufrir transformaciones por degradación (deformación estructural, empobrecimiento en iones) o bien el proceso contrario (fijación de iones, regeneración de estructuras degradadas). A su vez, las rocas ígneas y las metamórficas de las que provienen son los minerales más abundantes de la corteza

terrestre – silicatos– en la que ocupan del 60 al 65% de su volumen total, con una estructura cristalina que permite una gran capacidad de intercambio y retención de agua.

Los correctores

Son compuestos de óxido de hierro, óxido de silicio, óxido de aluminio, etc. que se adiciona en la dosificación de la caliza alta y baja al momento de la pre homogenización y homogenización de las materias primas para ser almacenados en forma de rumas (UNACEM S.A.A. 2019).

El óxido de hierro:

El óxido de hierro son los elementos más frecuentes en las rocas y los suelos, el color de estos varía de acuerdo a la concentración de este elemento, que están compuestos por 3 átomos de oxígeno y 2 átomos de hierro conocido como óxido férrico de fórmula química  $Fe_2O_3$ , se denomina óxido de hierro a este material por tener mayor cantidad de este elemento y según los proveedores bordeando entre los 40% a 50% de la MP de óxido hierro.

El Clinker

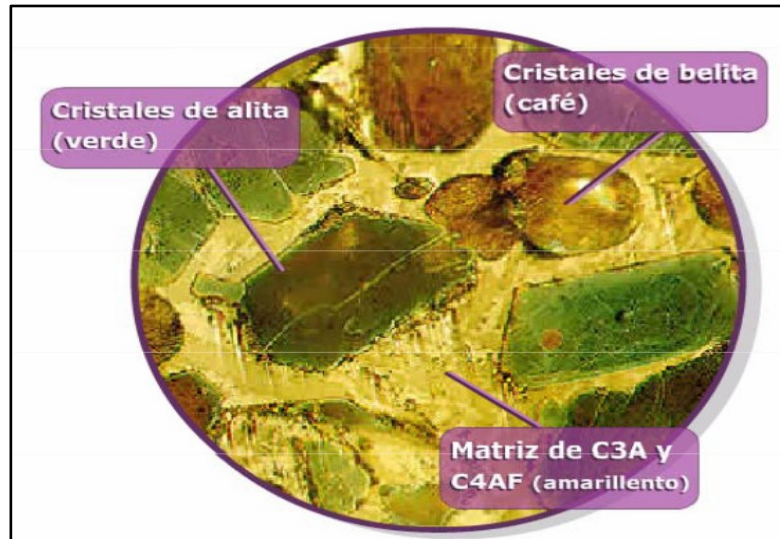
El Clinker es una mezcla de minerales, que son sometidos a tratamientos térmicos de altas temperaturas para modificar así las propiedades de la mezcla, con la finalidad de hacerla perfecta para la fabricación del cemento (IQR Ingeniería Química 2020).

Este producto de color negro gris que se obtiene de la calcinación de la harina cruda a temperatura de  $1450^{\circ}C$  con tamaños que varían de

0.5 a 60 mm de forma granuladas. Es donde adquieren sus principales propiedades mediante las fases mineralógica de Clinkerización así como se muestra en la imagen del microscopio.

### Figura 1

#### *Microscopia del Clinker*



Nota. Tomada de Asocreto en laboratorio del concreto (2020)

El C3S son cristales pseudo hexagonales de color verdoso, los C2S son cristales redondeados de color café y la fase líquida o matriz (C3A y C4AF) es de color amarillento. Este nódulo fue cortado a la mitad y tratado con el fin de darle color para poder distinguir sus partes, pero originalmente son incoloros. El enfriamiento rápido del Clinker hace que el óxido de magnesio se congele en los cristales de C3S, C2S, C3A y C4AF, se dice congelar a la acción de que hasta un 5% de MgO actúa como CaO en los cristales indicados y si el enfriamiento es rápido, continúa dentro de los cristales, pero si el enfriamiento es lento. El MgO, buscando su equilibrio se libera de los cristales originando que el C3S se degrade a C2S y aparezca como un cristal de "MgO libre", llamado periclusa y que en tal forma va a originar agrietamiento en el concreto que se elabore con ese cemento. Esto se debe a que el MgO reaccione

con el agua para formar hidróxido de magnesio  $Mg(OH)_2$ , con un crecimiento cristalográfico que hace una presión de algunos cientos de kilogramos por centímetro cuadrado.

#### La puzolana

Es un material silico-aluminoso, que por sí solo tiene poco o ningún valor cementante, pero finamente dividido en medios húmedos y a temperaturas ordinarias, reacciona químicamente con el hidróxido de calcio, formando compuestos de propiedades cementantes, usa en la fabricación de cemento como adición al Clinker para obtener cemento puzolánico o de sustitución requerido de cemento en algún determinado tipo de concreto (Grupo Argos)

#### El yeso

Es un material natural de color blanco brillante llamado sulfato de calcio di hidratado con formula química  $(CaSO_4 \cdot 2H_2O)$  que actúa como regulador del fraguado, en el proceso de endurecimiento del cemento para dar tiempo de manipulación al constructor. Se emplea en el proceso de molienda del cemento en conjunto con el Clinker y otras adicciones.

## 2.2.6 Control de calidad en cemento

Es el proceso de inspección, mediante exámenes se verifican las propiedades físicas, químicas de los productos elaborados para la satisfacción de los clientes (ISO 9001- 2015). En este estudio se tomaron en cuenta los siguientes ensayos:

Permeabilidad al aire libre con el equipo Blaine

Se expresa la finura de un material pulverulento como el cemento, determinado como el área superficial de partículas en metros cuadrados por kilo. Este ensayo Blaine cuantifica numéricamente dicho valor por la permeabilidad al aire libre de una muestra preparada y normalizada (NTP 334.001).

Análisis químico por fluorescencia de rayos x

Según (Egim Fernando De La Cruz Echaccaya-2018) en su trabajo de suficiencia de Fluorescencia de rayos X y su aplicación en la determinación de elementos químicos en determinadas muestras menciona, que es la técnica que permite identificar los elementos químicos en una muestra a partir de la lectura de la emisión de rayos X secundarios o fluorescentes que son emitidos desde la muestra después de que ésta haya sido expuesta a la irradiación de rayos X primarios. Estos rayos X primarios provenientes del tubo de rayos X o de la fuente radiactiva golpean a la muestra, los rayos X pueden absorberse por el átomo o puede esparcirse a través del material.

Durante este proceso los rayos X primarios tienen suficiente energía, estos electrones son expulsados de los niveles internos, creando vacancias, pero estas vacancias se llenan con electrones de los niveles exteriores y en el proceso emite rayos X característicos cuya energía es la diferencia entre los niveles de energía y los transferidos este proceso tienen tres etapas de funcionamiento como

- ❖ Excitación de los átomos que constituye en la muestra.
- ❖ Emisión de los rayos X característicos para la muestra.
- ❖ Detección de los rayos X característicos emitidos a la muestra.

Resistencia a la compresión

Es la capacidad de soportar una carga por unidad determinada de área, y se expresa en términos de fuerza, generalmente en kg/cm<sup>2</sup>, MPa y con alguna frecuencia en libras por pulgada cuadrada (psi) de área correspondiente (Cemex 2019). Resistencia máxima de una probeta de concreto o mortero resiste cuando es cargada axialmente en compresión en una máquina de ensayo a una velocidad especificada. (NTP 339.034).

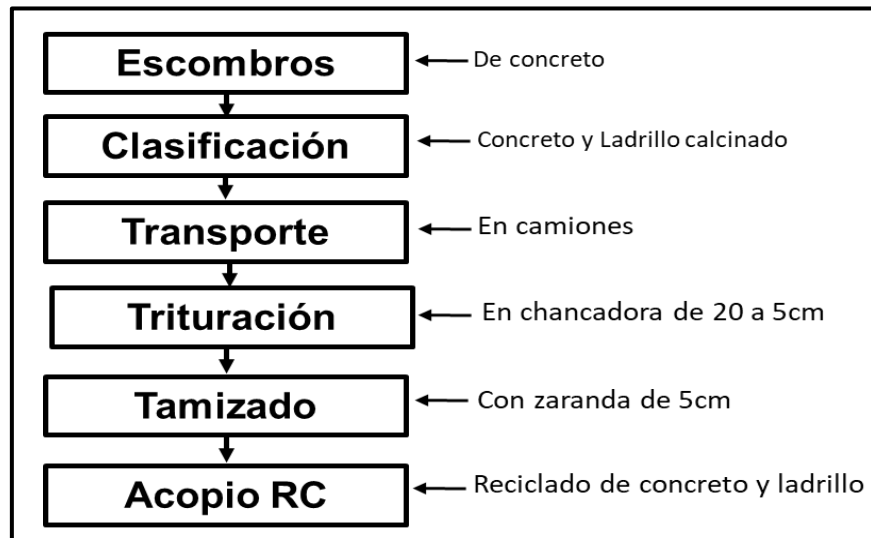
## **2.3 Bases conceptuales o definición de términos básicos**

### **2.3.1 Proceso de reciclado de concreto**

Es el proceso de reciclar el concreto usado en la construcción después de haber cumplido su ciclo de vida en las edificaciones de grandes y pequeñas construcciones, mediante las demoliciones se forman escombros.

**Figura 2**

### Proceso de reciclado de concreto



*Nota.* Tomada por elaboración propia.

- ❖ **Escombros:** Son residuos de construcción como arena, grava, piedras, cemento, ladrillos, tierra, Hierros y madera que provienen de las demoliciones e edificaciones de la industria de la construcción para ser recuperadas y reusadas.
- ❖ **Clasificación:** Los clasificamos según su clase y su uso que se puede aplicar en el reusó para elaborar cemento, todo material inerte se puede emplear como concreto armado limpio y ladrillo calcinado lo clasificamos por separados.
- ❖ **Transporte:** El transporte del reciclado de concreto se realiza con camiones y volquetes trasladándoles hacia la planta de proceso.
- ❖ **Trituración:** Se realiza por medios mecánicos de la chancadora secundario, reduciendo el tamaño de 20cm, 25cm a 5cm y 10cm.



- ❖ Tamizado: Se realiza con tamiz de 5cm, para volver a chancar el retenido y tamizar de nuevo para que pase todo el material.
- ❖ Acopio: Una vez pasado los procesos anteriores, el acopio se realiza en canchas y bolsas, según el uso de cantidad de material de reciclado de concreto.

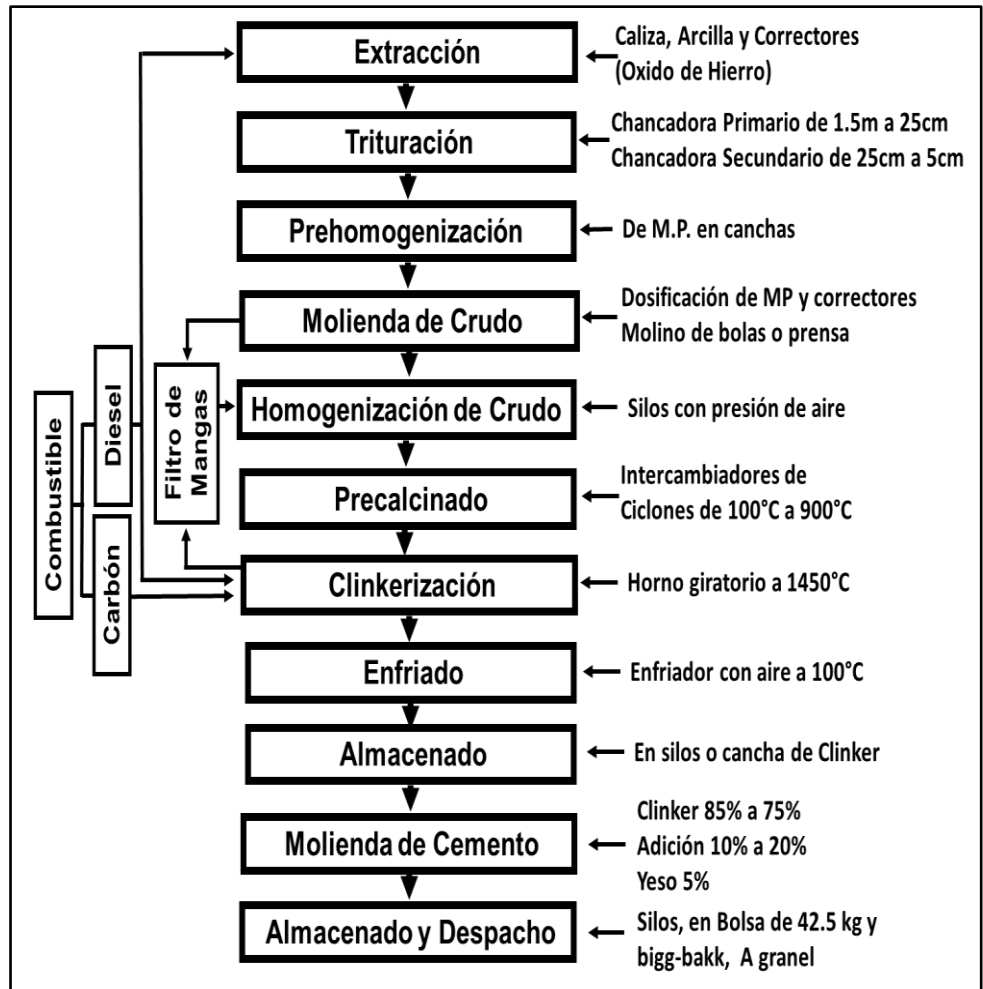
### 2.3.2 Proceso de fabricación del cemento

Como Indicamos en el proceso de fabricación del cemento, los cementos adicionados cumplen las mismas etapas de procesos de producción con la única diferencia que se adicionan cierta cantidad de materia inorgánica, como la puzolana, caliza u otra de material Inerte (cementos inka 2019).

El proceso de elaboración del cemento consiste en transformar las materias primas inorgánicas mediante procesos mecánicos, térmicos y químicos en un material con propiedades aglomerantes mediante la reacción con el agua, teniendo en cuenta el control calidad en cada etapa del proceso.

### **Figura 3**

*Proceso de fabricación de cemento portland*



*Nota.* Tomada por UNACEM Perú (2023), en mención al proceso de cemento.

- ❖ Extracción: Se extrae la caliza, la arcilla y otros óxidos con voladuras, excavadoras y cargadores frontales, estas rocas son grandes de diferentes medidas que cargados por volquetes grandes hacia chancadora primaria (Cementos Inka, 2019).
- ❖ Trituración primaria y secundaria: La materia prima llega y pasa por la trituradora primaria (chancadora cónica) de 15 a 7 cm de diámetro luego es transportado por fajas a la trituradora secundaria (Chancadora de Quijada) que el material sale de 7 a 5 cm y así seguir su proceso de producción (Cemento Andino, 2010).
- ❖ Pre homogenización de materias primas: La piedra caliza y las otras materias trituradas son transportados por unas cintas transportadoras y homogenizadas en forma de rums en canchas de almacenamiento para continuar el proceso hacia las tolvas de la balanza de molienda del crudo (Cemento Andino, 2010).
- ❖ Molienda de Crudo: Es la etapa donde las materias primas son molidas con un retenido del 18% en malla de 90µm finamente para formar lo que se llama "harina cruda", para después ser almacenada en silos de homogenización y continuar el proceso en curso (Cemento Andino, 2010).
- ❖ Precalcinación: La harina cruda se alimenta a una torre de pre calcinación llamado intercambiador de ciclones en donde desciende e intercambia cada etapa para ser deshidratada y descarbonatada con temperaturas de 200°C a 900°C. y seguir curso de proceso (Cemento Andino, 2010).

- ❖ Clinkerización: En este proceso se realiza en un horno rotatorio a 1450 °C en donde ocurren las reacciones químicas que dan lugar a la formación de los minerales hidráulicos, para luego pasar por un proceso de enfriamiento rápido con aire dando lugar a la formación de los pellets de Clinker el cual es almacenado en los llamados canchas o silos de Clinker (Cementos Inka, 2019).
- ❖ Enfriado: El enfriado se realiza mediante equipos de enfriadores con presión de aire frío, que realiza un enfriado rápido hasta menos de 100°C para obtener un Clinker de buena calidad.
- ❖ Almacenado: El Clinker se almacena mediante silos o canchas de almacenamiento cerrado filtrante para no dejar escapar el polvo al medio ambiente.
- ❖ Molienda de cemento: En este proceso el Clinker es mezclado con yeso y adiciones en los molinos de bolas o de prensa, donde son mezclados y molidos hasta obtener un polvo muy fino y suave de color gris, queda entendido que las adiciones le brindan cualidades específicas al tipo de cemento que se desea producir (Cementos Inka, 2019). La fracción granulométrica de 3 a 30 micras es decisiva para un buen desarrollo de la resistencia a la compresión y menores de 3 micras solo contribuyen a las resistencias iniciales, que son representadas en unidades de  $\text{kg/cm}^2$ , cuanto más gruesas son las partículas la resistencia a la compresión serán más bajas (Walter H. Duda 1977)

- ❖ Almacenamiento y distribución: Son almacenados en silos de gran dimensión incorporados con sistema de embolsado y transporte de material de carga al camión y por sistema de a granel y big-bag y envasado en bolsas 42.5 kg (UNACEM 2020).

### 2.3.3 Requisitos químicos y físicos con sus respectivos ensayos de control de calidad del cemento

El control de calidad viene a ser una forma de verificar el estándar de un producto o servicio durante su proceso de elaboración y sirve para la probabilidad de insertar productos con fallas en el mercado (Pablo Orellana Ni rían, José Francisco López 2020). Está relacionado con todo el sistema de una institución o instituciones, según sus sistemas de automatización de control que emplean.

- ❖ Requisitos Químicos: Los requisitos químicos son establecidos por la NTP y la norma internacional ASTM, que establece su control y uso por medio de Indecopi, para su producción del cemento en el Perú.

**Tabla 3**

*Requisitos Químicos del cemento*

Requisitos de Químicos	Método ensayo aplicable	Tipos de cemento			
		IS(<70) It(p<s<70) IT(L<S<70)	IS(<70) ITS(<70)	IP,I(PM) IT(P<) IT(P<L)	ICO IL IT(I<S) IT(L<P)
Oxido de magnesio %	334.086	.....	.....	6.0	.....
Trióxido de azufre %	334.086	3.0	4.0	4.0	3.0
Azufre %	334.086	2.0	2.0	.....	.....

Residuo insoluble %	334.086	1.0	1.0	.....	.....
Perdida por ignición %	334.086	3.0	4.0	5.0	10.0

Nota. Tomada por Indecopi (2018)

- ❖ Requisitos físicos: Estos requisitos físicos son aplicados en el proceso de la elaboración y control de los morteros para dar su conformidad final del cemento por medio de la resistencia a la compresión.

**Tabla 4**

*Requisitos físicos del cemento*

Requisitos físicos	Método de ensayos aplicables	Tipos de cemento				
		IS(<70) IP,IL,I(PM) IT(P<S<70) ) IT(P≥S) IT(P>L) IT(L≥P) ICO	IS(<70)(MIS(<70)(HS S) IP(MS) IT(P<70)( MS) IT(P≥S)( MS)	IS(<70)(HS ) IT(<70)(HS ) IP(HS) IT(P≥S)(H S)	IS(≥ 70) IT(S ≥70)	IP(LH), <sup>A</sup> IT(P≥S) (LH) <sup>A</sup> IL(LH) <sup>A</sup> IT(<S<70) (LH) IT(P>L) (LH) <sup>A</sup> IT(L≥S) (LH) <sup>A</sup> IT(L≥P) (LH) <sup>A</sup>
Finura	334.002/33 4.045	B	B	B	B	B
Expansión en autoclave, Max. %	334.004	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
Contracción en autoclave, Max. %	334.004	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Tiempo de fraguado, ensayo vicat: <sup>D</sup>	334.006					
Fraguado, minutos, no menos de		45	45	45	45	45
Fraguado, horas, no más de		7	7	7	7	7
Contenido de aire del mortero, volumen %, Max.	334.048	12	12	12	12	12

Resistencia a la compresión, min, MPa	334.051					
3 días		13.0	11.0	11.0	.....	.....
7 días		20.0	18.0	18.0	5.0	11.0
28 días		25.0	25.0	25.0	11.0	21.0
Calor de hidratación, kJ/kg(cal/g), <sup>F</sup>	334.064					
7 días		290(70) <sup>E</sup>	290(70) <sup>E</sup>	290(70) <sup>E</sup>	.....	250(60)
28 días		330(80) <sup>E</sup>	330(80) <sup>E</sup>	330(80) <sup>E</sup>	.....	290(70)
Requerimiento de agua % en peso del cemento, Max.	334.051/334.165	.....	.....	.....	.....	64
Contracción por secado, % Max.	334.067	.....	.....	.....	.....	0.15
Expansión del mortero						
14 días, % Max.		0.020	0.020	0.020	0.020	0.020
8 semanas, % Max.		0.060	0.060	0.060	0.060	0.060
Resistencia a los sulfatos, Max. % <sup>G</sup>	334.094	.....	0.10	0.05	.....	..... <sup>H</sup>
Expansión a los 180 días, % Max.		.....	.....	0.10	.....	..... <sup>H</sup>
Expansión a 1 año					.....	

*Nota.* Tomada Indecopi (2018)

- ❖ Determinación de retenido: Se pesa 10 gramos de muestra, encender el alpine trasvasar la muestra, taparlo y golpear para que no se sature, en dos minutos se apaga y se pesa la muestra retenida multiplicada por el factor de la malla de 45um.
- ❖ Determinación de permeabilidad al aire: Pesar en gramos la muestra según el tipo de calibración que tiene el equipo de permeabilidad, luego trasvasar a la celda, presionar suave hasta llegar al punto indicado, colocar en el equipo, programar y aceptar.
- ❖ Determinación de Humedad: En la balanza térmica de determinación de humedad, pesar los gramos de muestra según el parámetro de cada materia a utilizar, programar y aceptar.
- ❖ Determinación de perdida al fuego: Pesar 1 gramo de muestra en la balanza analítica, trasvasar al crisol de porcelana, colocar al horno de calcinación de 400°C por un tiempo de 30 minutos, transferir al horno de 970°C por un tiempo de 20 minutos.
- ❖ Determinación del calibre por difracción: Pesar 10 gramos de muestra con 1 gramo de maicena, trasvasar a la capsula, colocar al equipo de vibración por tiempo de 90 segundos, sacar la muestra de la capsula, homogenizar, prensar en el molde de pastilla para calibre, colocar la pastilla al equipo de difracción, programar y reportar resultado.



- ❖ Determinación química por Florencia de Rayos X: Pesar 10 gramos de muestra con 0.5 gramo de cera, trasvasar a la capsula, colocar al equipo de vibración por tiempo de 90 segundos, sacar la muestra de la capsula, homogenizar, prensar en el molde de pastilla para calibre, colocar la pastilla al equipo de fluorescencia, programar y reportar resultado.
  
- ❖ Preparación de los morteros: Pesar una parte de cemento y tres partes de arena Ottawa, trasvasar la muestra a la celda de batido y agregar 225 ml de agua limpia y encender el equipo en velocidad lenta, luego aumentar la velocidad de 2 minutos, trasvasar la masa y amasarlo y colocar al molde de los adoquines, enrasar bien, pulirlo y colocar en el vibrador, sacar los adoquines con el molde del vibrador y llevar a la cámara de curado.
  
- ❖ Determinación de la resistencia a la compresión: Sacar los adoquines de la cámara de curado, secarlo bien, acomodar el cubo en la prensa, encender, observar y reportar.

### **III. METODOLOGIA**

En este capítulo desarrollamos los procesos de obtención del cemento adicionado de reciclado de concreto como grupo experimental, con respecto al cemento tipo I del grupo de control.

#### **3.1    Ámbito**

El estudio se llevó a cabo en laboratorio químico del área de división química de la empresa UNACEM S.A. planta Condorcocha del distrito de la Unión Leticia provincia de Tarma y departamento de Junín, mediante el proceso de elaboración de cementos, se obtuvo el cemento ARC con el 10% y 20% de adición de concreto reciclado.

#### **3.2    Población y selección de la muestra**

##### **3.2.1    Población**

En una investigación la población está compuesta por todos los elementos ya sea personas, objetivos, organismos históricos, etc. que participan del fenómeno definido y delimitado en los análisis del problema (M. en E. Neftali Toledo Diaz de León). En esta investigación la población corresponde a 3.kg de cemento producidos por cada grupo de estudio con su respectiva adición del 10% y 20% de reciclado de concreto, se produjeron solo esta cantidad por la misma capacidad del molino de bolas que alcanza a 3.3kg en laboratorio del departamento químico.

##### **3.2.2    Muestra**

Es un subgrupo con las mismas características, es representativo y

proporcional al tamaño de la población que ha sido seleccionado por procedimientos aleatorios y probabilísticos (M. en E. Neftali Toledo Diaz de León). Para el estudio indicado, la muestra fue elegida de forma aleatoria, utilizando el método de muestreo al azar, tomando la porción de 2kg de cemento ARC por cada grupo de estudio a la salida del molino para sus respectivos análisis fisicoquímicos y de resistencia a la comprensión mediante los 12 morteros realizados por el GE1, 12 morteros realizados por el GE2 y 12 morteros realizados por el GC, sumando un total de 36 morteros. Estos morteros tienen forma de cubo con medidas de 50mm x 50mm por cada lado.

### **3.3 Nivel, tipo y diseño de estudio**

#### **3.3.1 Nivel**

Aplicada por estar orientada a resolver objetivamente los problemas de los procesos de producción, distribución, circulación y consumos de bienes y servicios industriales (Humberto Ñaupas Paitán “et al.” 2013). Así como en este proyecto se está especificando las propiedades fisicoquímicas y la resistencia a la comprensión de la fabricación del cemento ARC.

#### **3.3.2 Tipo**

Correlacional-causal, es la que tiene como objetivo describir relaciones entre dos o más variables en un momento determinado (Hernández Sampieri 2014). De acuerdo al estudio relacionamos y comparamos los resultados obtenidos de la fabricación del cemento ARC con el grupo control que es el cemento tipo I de marca Andino.

### 3.3.3 Diseño de estudio

Es un diseño experimental con posprueba y grupo de control, comparando los resultados obtenidos del cemento adicionado de concreto reciclado con los datos obtenidos del cemento tipo I Andino que es el grupo de control. Mediante la manipulación de la variable independiente se alcanza solo dos niveles de presencia y ausencia, cuando concluye la manipulación a ambos grupos se le denomina una medición sobre la variable dependiente de estudio. (Hernández Sampieri, Fernández & Baptista, 2014). Así como se muestra en el siguiente diagrama que nos servirá para elaborar el diseño del proyecto de estudio.

RG1 X 01  
 RG2..... 02

RG1 y RG2: Grupo de control

X: Manipulación de la variable independiente

01 y 02: Pospruebas

Este diagrama nos servirá para elaborar el diseño de proyecto de investigación y es como sigue:

**Tabla 5**

*Diseño de investigación, para identificar los elementos*

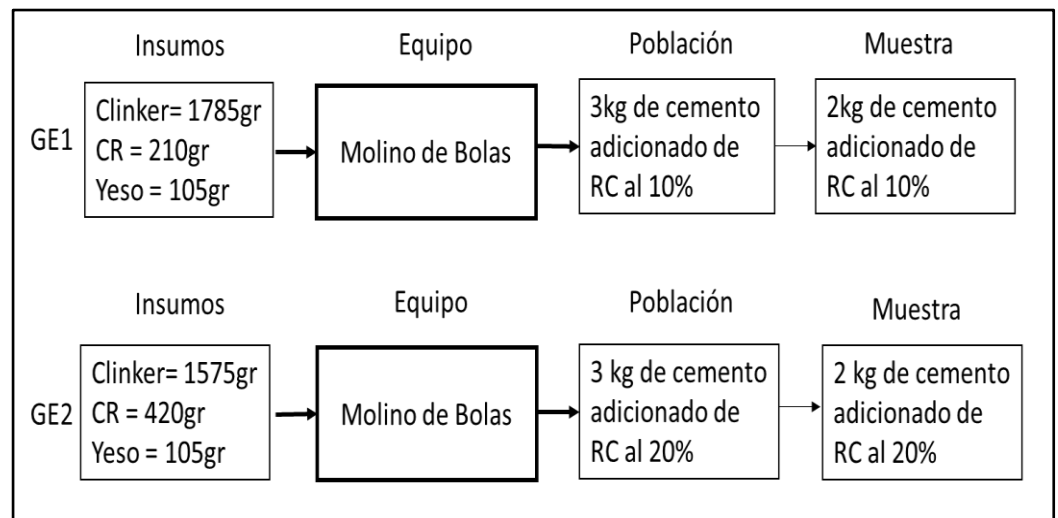
Grupo de control	Variable independiente	Pospruebas
Adición de GE1 Clinker 85%,	X1 Adición de CR	01

	yeso 5%		10%		Propiedades
GE2	Adición de Clinker 75%, yeso 5%	X2	Adición de CR 20%	02	físicas,
GC3	Adición de Clinker 95%, yeso 5%	-	Sin Adición	CP	químicos y mecánica

*Nota.* Elaboración propia

#### Figura 4

*Diseño de molienda de del cemento adicionado de reciclado de concreto*



*Nota.* Elaboración propia del diseño experimental

### 3.4 Métodos, técnicas e instrumentos

#### 3.4.1 Métodos:

Experimental de síntesis de la observación

La investigación de enfoque experimental es cuando el investigador manipula las variables de estudio, para controlar el aumento o disminución y su efecto en las conductas observadas. Dicho de otra forma, un experimento consiste en hacer un cambio en el valor de la variable independiente y observar su efecto en otra

variable dependiente, esto se lleva a cabo en condiciones rigurosamente controladas con la finalidad de describir la causa que produce una situación particular de estudio (Atenea Alonso Serrano y otros).

### 3.4.2 Técnicas

#### Observación no participante

La observación no participante viene a ser procedimientos que utiliza el investigador para presenciar directamente el fenómeno que estudia, sin actuar sobre él, sin modificarlo o realizar cualquier tipo de operación que permita la presencia del investigador (Zapata 2006, p. 145). Para el estudio se empleó la técnica de observación no participante directa, por obtener la información directamente de la población y muestra del del cemento ARC de los GE y GC.

### 3.4.3 Instrumento:

Los instrumentos de recolección de datos son herramientas utilizadas para recopilar información en una investigación, estos instrumentos son empleados dependiendo de la naturaleza de la investigación y los datos que se deseen recopilar. (Elisa Carrero 2019).

#### Ficha de observación:

Son instrumentos de investigación de campo en el cual se realiza una descripción específica de acontecimientos, lugares y personas. Para realizar la observación el investigador necesita trasladarse a donde surgió los hechos y acontecimientos que es estudiado. Se usan mayormente para comenzar el proceso de observación,

además se puede complementar con la entrevista y la ficha de registro en donde se detallan datos de información que al observador le parezca importante incluir para trabajo de estudio (José Olmedo director de marketing en ESSAE Formación).

Para la recolección de datos en este trabajo se utilizó como instrumento las fichas de observación presentes de los ensayos físicos y químicos en muestras de cemento y de las materias primas, así como se muestra en el nexo N°3 de diferentes fichas utilizadas en el experimento realizado. También se recolectaron datos de la resistencia a la compresión de los morteros de cemento ARC y los datos de la Norma Técnica Peruana, que son nuestro guía de investigación a seguir.

**Tabla 6**

*Técnicas, instrumentos y recolección de datos*

<b>Técnica</b>	<b>Instrumento</b>	<b>Recolección de datos</b>
Observación directa	Ficha de observación	Propiedades físicos y químicos de las MP y del cemento ARC
Procesamiento del cemento ARC	Materiales y equipos de proceso	Control de proceso según parámetros
Ensayos fisicoquímicos	Equipos de laboratorio químico y de rayos x	Parámetros físicos y composición química del cemento ARC
Ensayos mecánicos	Equipos de pruebas físicas	Fraguados y resistencia a la compresión

*Nota.* Tomada de UNACEM (2023), proceso y ensayos del cemento ARC.

### 3.5 Materiales y equipos

Materia prima:

En el presente estudio se utilizó como materia prima natural la el yeso y como materia prima artificial el Clinker y el reciclado de concreto como material adicionado en proporciones indicadas en el proceso de elaboración del cemento ARC.

Insumos:

En la molienda del cemento ARC no se usó aditivos.

### 3.5.1 Materiales y equipos en el proceso del cemento ARC

Materiales:

- ❖ Zaranda de 5cm
- ❖ Mesa y pilón metálica
- ❖ Plancha metálica o cuarteador
- ❖ Bolsa plástico 3 unidades
- ❖ Hoja de cálculo, lapiceros
- ❖ Recipientes

Equipos

- ❖ Chancadora de quijada
- ❖ Plancha eléctrica (secadora)
- ❖ Balanza analítica
- ❖ Molino de bolas

### 3.5.2 Materiales y equipos de ensayos fisicoquímicos de MP y del cemento ARC

Materiales:

- ❖ Muestra



- ❖ Recipiente para muestra
- ❖ Cuchara de pesado
- ❖ Lapicero
- ❖ Hoja de calculo
- ❖ Malla de 45um

Equipos:

- ❖ Balanza analítica
- ❖ Computadora
- ❖ Alphine
- ❖ Blaine
- ❖ Pehachimetro
- ❖ Fluorescencia de rayos x
- ❖ Difractómetro de rayos x

### 3.5.3 Materiales y equipos de ensayos mecánicos

Materiales:

- ❖ Muestra
- ❖ Recipiente para muestra
- ❖ Cuchara de pesado
- ❖ Espátula
- ❖ Probeta graduada
- ❖ Lapicero
- ❖ Cuaderno de anotaciones de datos
- ❖ Moldes

Insumo:

- ❖ Cal

Equipos:

- ❖ Termómetro
- ❖ Hidrómetro
- ❖ Balanza
- ❖ Mezcladora
- ❖ Vibrador
- ❖ Celda de curado
- ❖ Prensa hidráulica

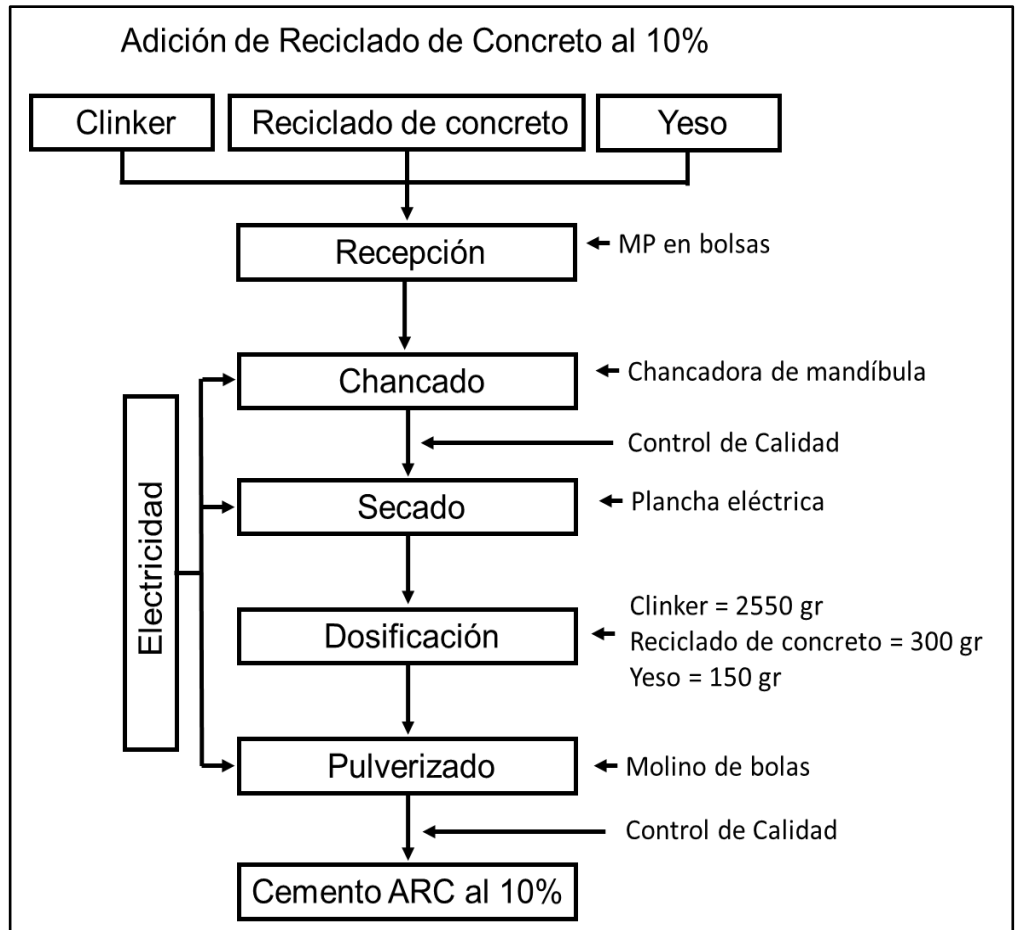
### **3.6 Proceso de molienda del cemento adicionado de reciclado de concreto**

#### **3.6.1 Proceso de elaboración del cemento adicionado de reciclado de concreto al 10%**

En este proceso mostramos la molienda del cemento adicionado al 10% de reciclado de concreto con 85% de Clinker y 5% de yeso, siendo la diferencia solo en la dosificación mínima del reciclado concreto al 20% con respecto al otro proceso de dosificación.

#### **Figura 5**

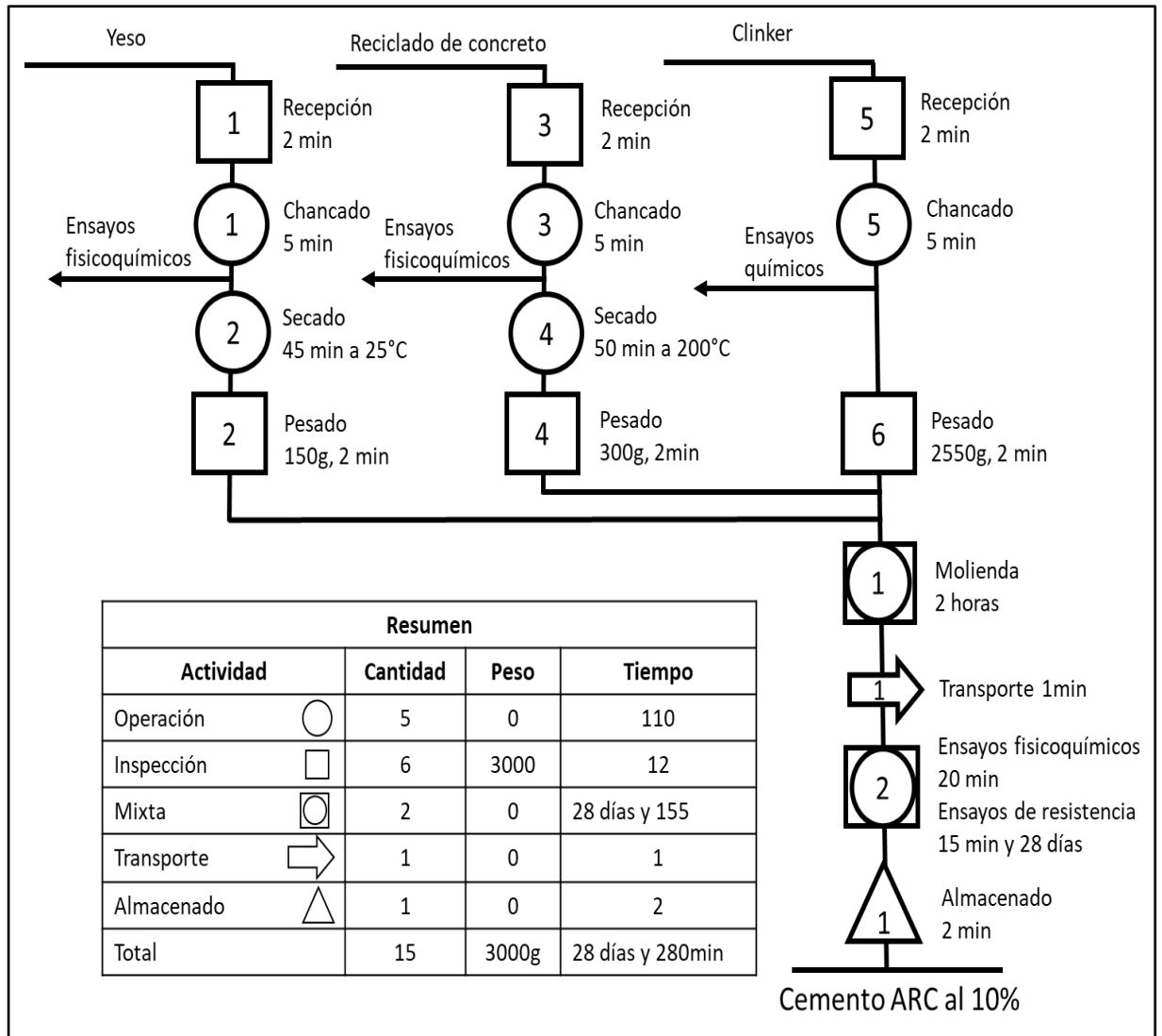
*Proceso de molienda del cemento adicionado al 10%*



*Nota.* Tomada en UNACEM.

**Figura 6**

*Diagrama de operaciones de Proceso de molienda del cemento adicionado al 10%*



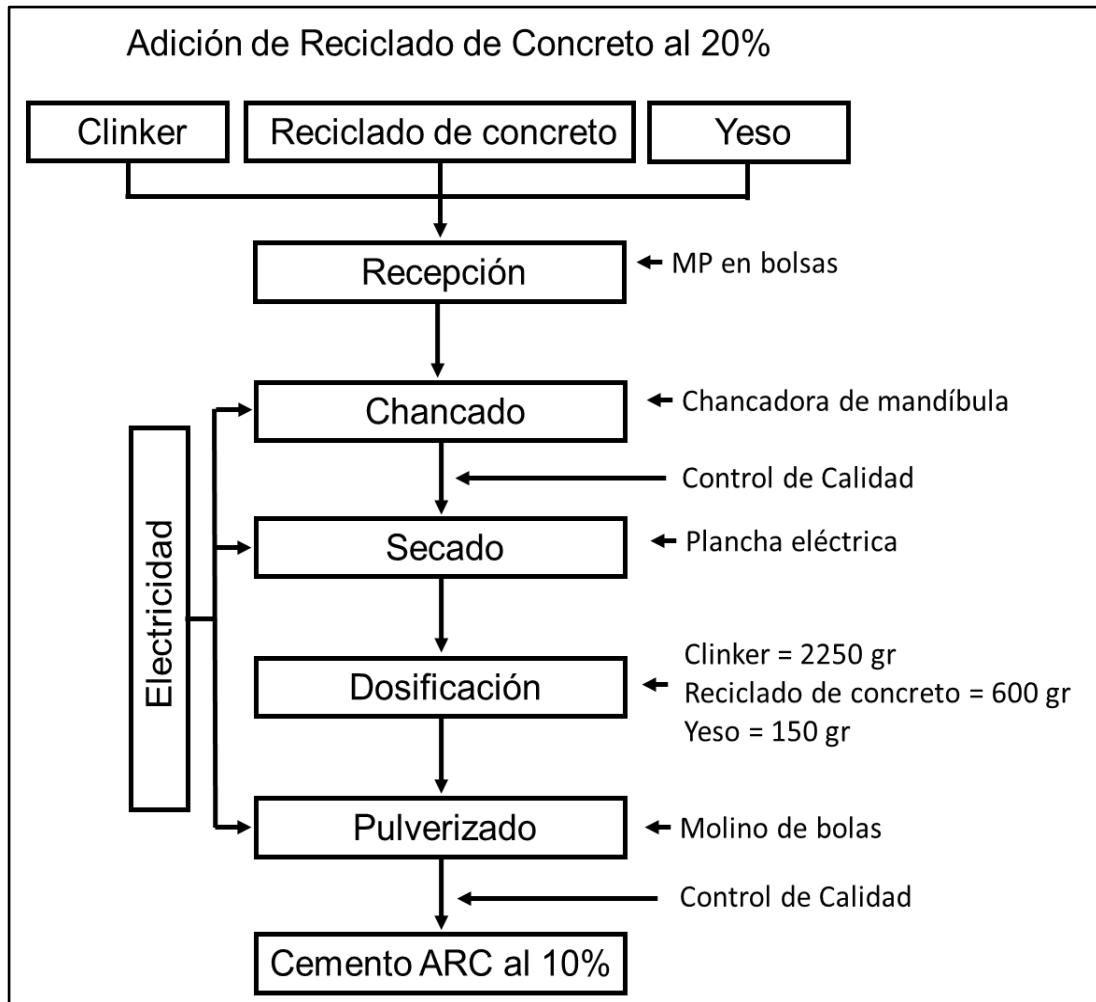
Nota. Tomada en UNACEM.

### 3.6.2 Proceso de molienda del cemento adicionado con reciclado de concreto al 20%.

Para esta prueba se aumenta el doble de concreto reciclado, pretendiendo obtener la misma resistencia que la primera prueba y se baja la cantidad de Clinker para así disminuir el consto de producción.

**Figura 7**

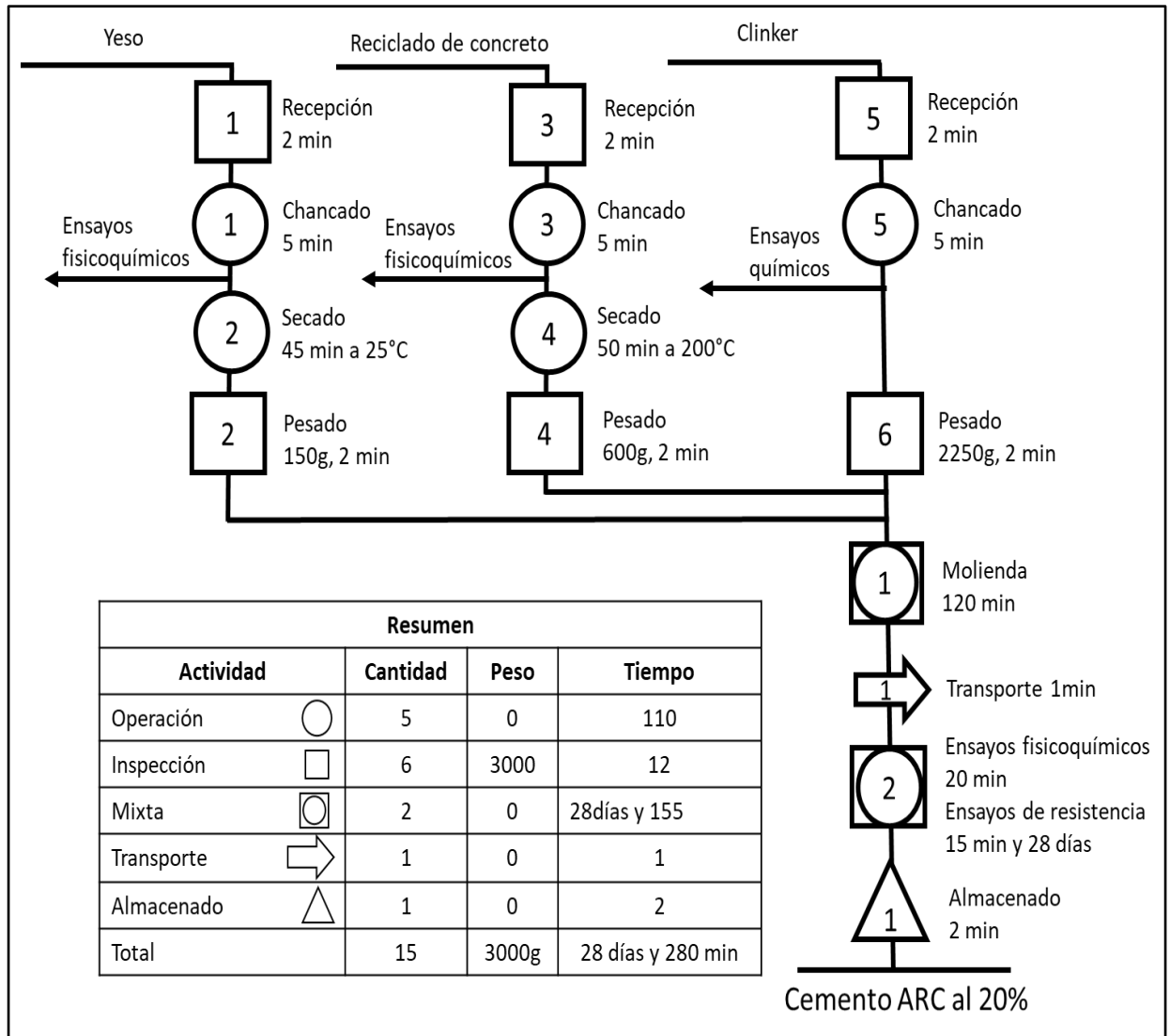
*Proceso de molienda del cemento adicionado al 20%*



*Nota.* Tomada en UNACEM.

**Figura 8**

*Diagrama de operaciones de Proceso de molienda del cemento adicionado al 20%*



Nota. Tomada en UNACEM.

### 3.7 Elaboración

#### 3.7.1 Recepción de materia prima

El concreto reciclado, el Yeso y el Clinker llegan en su estado natural de 5cm aproximadamente, para su recepción e inspección y luego pasar a ser zarandeado y chancado a menor tamaños.

*Figura 6*

*Recepción de materias primas*



*Nota.* Tomada Laboratorio UNACEM S.A. (2023)

### 3.7.2 Chancado

Es el proceso de triturar la materia prima en la mesa metálica para luego pasar por la chancadora de quijada, obteniendo tamaños mucho menores de 5 cm para homogenizar y cuartear para tomar una muestra de humedad.

**Figura 7**

*Chancado de la materia prima*



Nota: Tomada en UNACEM S.A, elaborando el chancado de la MP.

### Primer control de calidad

Determinación de humedad: Pesamos 5 gramos de muestra de yeso, anotamos el peso inicial y lo colocamos en el horno de secado a una temperatura de 25°C por 4 horas para luego poner en el desecador para luego pesar de nuevo y anotar el peso y calcular por regla de tres simple en porcentaje de humedad. En el caso del CR se programa la balanza térmica y peso 5g de muestra para luego cerrar y aceptar la corrida y después anotar el resultado automático.

Determinación de ensayos químicos en fluorescencia por rayos X en muestras de Clinker y RC.



Se pesa 10g de muestra con 0.5g de cera en la balanza analítica para luego trasvasar a la capsula, tapar, colocar al equipo de vibrador, cerrarlo y encender por un tiempo de 90sg, luego sacar la capsula y decepcionar la muestra en la mesa junto al recipiente de porcelanato para desgrumar y luego llevar al equipo de prensado previo colocado los anillos de molde, luego serrar y encender el equipo de prensado obteniendo la muestra en forma de una pastilla, sacarlo cuidadosamente y limpiarlo con un poco de presión de aire y por ultimo armar y colocar la pastilla en la celda de análisis para luego cerrar el equipo de rayos X, programar y enviar la muestra y luego reportar los datos obtenidos. Así como se muestra en la tabla.

**Tabla 7**

*Análisis fisicoquímico de las materias primas*

Materia	H2O	CaO	Al2O3	Fe2O3	SiO2	SO3
Clinker	0.28	0.31	2.56	13.46	-	-
Concreto R.	10.34	26.78	7.96	2.84	41.96	0.99
Yeso	3.48	-	-	-	-	44.36

Nota. Tomada UNACEM S.A. los primeros análisis de materia prima

### 3.7.3 Secado

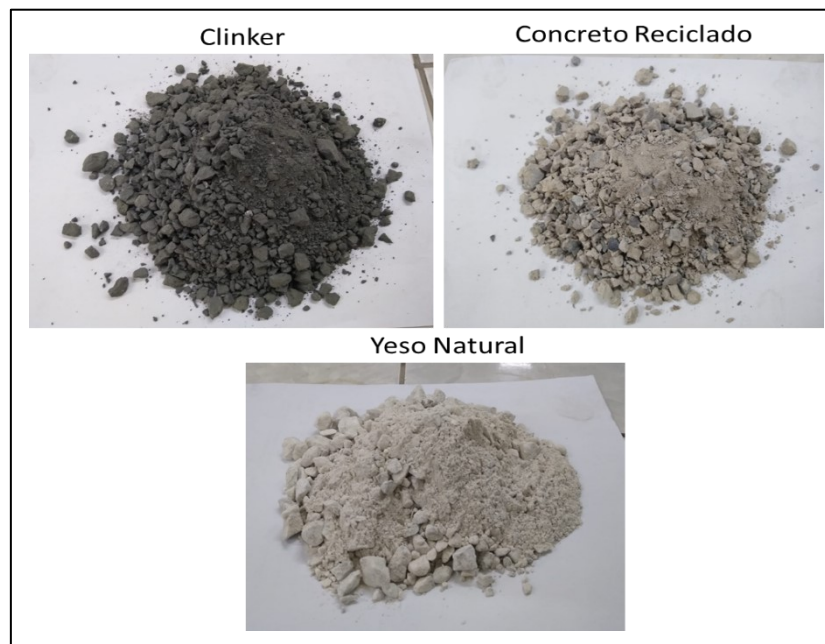
El secado lo emos realizado en el horno de secado a la materia del yeso a una temperatura de ambiente de 25°C aproximadamente por 8 horas para que no se deshidrata y sigue manteniendo todas sus moléculas de sulfato de calcio di hidratado ( $\text{CaSO}_3\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), y para el Clinker no era necesaria por estar fresco y el concreto reciclado se realizó a 200°C en la plancha eléctrica por 1 hora aproximadamente para alcanzar menos del 2% de humedad para que no afecte al proceso de molienda en el molino de bolas.

### 3.7.4 Molienda y dosificación

Es el último proceso de fragmentación del material después de la trituración, esta fragmentación se logra combinando fuerzas de compresión, corte, percusión y abrasión por el molino. Los tamaños de salida del cemento en esta etapa de molienda varía en milímetros y micras la molienda gruesa de 1 a 2 mm, la molienda media de 200 a 500 micras, la molienda fina de 50 a 100 micras, y la molienda ultrafina de tamaño de 10 micras aproximadamente (Víctor Yepes Piqueras 2020).

*Figura 8*

*Materia prima, chancada y dosificada*



**Nota.** Tomada UNACEM (2023)

Una vez preparado y dosificado (Clinker 2250gr, Concreto R. 600gr y, Yeso 150gr) los materiales se colocan en el molino de bolas previamente limpiados para cerrarlo, asegurarlo, programarlo para ½ hora y lo encendimos. Después realizamos la primera prueba de

retenido con la malla de 45um, la permeabilidad Blaine y la composición química por fluorescencia de rayos x, con la finalidad de poder corregir las desviaciones de las propiedades y seguir con el proceso.

### 3.7.5 Producto

El cemento es un producto de importancia en el mundo para el desarrollo de obras civiles en la industria de la construcción, caracterizado por ser conglomerante natural, al hidratarse conforma una masa blanca y cuando se deshidrata forma una consistencia sólida (Briones Olivera y Hernández 2020).

El producto obtenido de la molienda es el cemento adicionado de concreto de color gris pálido con una finura de 9% a 18% de retenido en malla de 45um alcanzando un Blaine de 5000cm<sup>2</sup>/g a 8000cm<sup>2</sup>/g, luego pasaron sus últimos controles de calidad de fluorescencia de rayos x y de resistencia a la compresión por pruebas físicas.

### 3.7.6 Controles de calidad

Es el seguimiento que se realiza en el transcurso del proceso, en este caso se realizaron los análisis químicos del Clinker, yeso y del Reciclado de concreto.

- ❖ Determinación de retenido: Se peso 10 gramos de muestra de cemento en la balanza sobre la luna de reloj, trasvasamos al equipo alpine que está instalado con la malla de 45um y lo encendimos por un tiempo de 2 minutos, golpeamos suavemente la tapa de la malla para hacer caer los polvos pegados en las paredes, luego pesamos el retenido obteniendo. Formula: Peso de retenido de muestra X factor

- ❖ Determinación de permeabilidad (Blaine): Pesamos 2.5675g de muestra en la balanza analítica para luego trasvasar a la celda metálica previamente preparado con el papel filtro N°42 Whatman junto con el disco perforados en su posición correcta y el embudo, luego poner limpiar bien con un pincel pelo de camello para que caiga todo la muestra a la celda, después tapar la celda con otro papel filtro y colocar el embolé y presionar hasta que choque la línea completa de presión para luego sacar girando suavemente el embole y colocar la celda en la base del equipo Blaine girando suavemente, subir el líquido aplastando la bobilla de succión cuidadosamente y por ultimo programar y analizar la muestra.

**Figura 9**

*Laboratorio. Determinación de permeabilidad método Blaine*



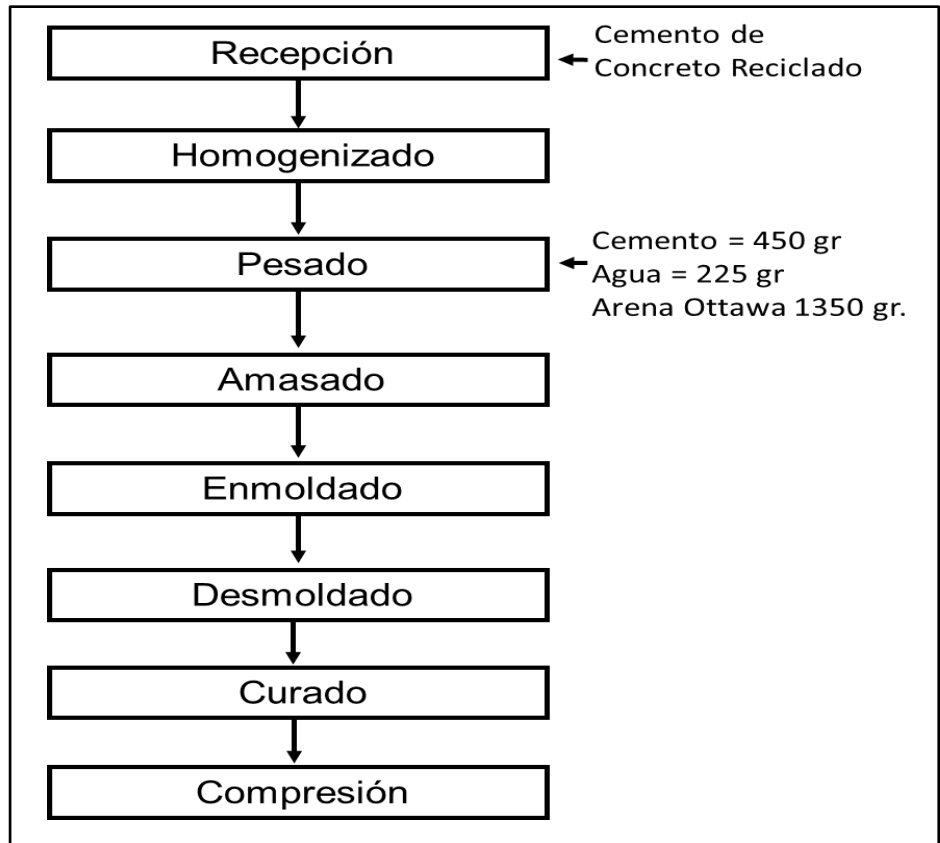
*Nota.* Tomada en UNACEM 2023, Determinación de Blaine del cemento.

### **3.8 Elaboración de morteros**

Es el proceso de elaboración de adoquines o morteros, donde se emplearon 450g de cemento ARC con 227ml de agua y 1350g de arena Ottawa, obteniendo 12 unidades de morteros de cada grupo de estudio en forma de cubos con medidas de 50mm por cada lado, para el análisis de resistencia a la compresión y dar conformidad al cemento ARC al 10% y ARC al 20%.

#### **Figura 10**

*Proceso de elaboración de mortero*



*Nota.* Tomada UNACEM (2023)

### 3.8.1 Recepción de la muestra

La recepción de las muestras se da en valdes de tres litros de volumen que son almacenados de acuerdo al tipo de producción de cemento en este caso es el adicionado de RC al 10% y al 20%.

### 3.8.2 Homogenizado

Se homogeniza en una bandeja metálico moviendo con las manos a ambos lados hasta obtener una mezcla homogénea por cada muestra de estudio elaborandos.

### 3.8.3 Pesado

En la balanza taramos un recipiente y pesamos 450 gramos de

cemento, luego taramos otro recipiente y pesamos 1350 gramos de arena Ottawa y por último medimos 225 ml de agua limpia en una probeta graduada.

#### 3.8.4 Amasado

Una vez pesado nuestros materiales, encendemos el equipo batidor eléctrica con velocidad baja, agregamos el cemento con la arena y agua poco a poco por tiempo de un minuto y aumentar la velocidad por 30sg apagamos el equipo y empezamos a amasar golpeando y frotando hasta obtener una pasta homogénea y maleable.

#### 3.8.5 Enmoldado

Una vez preparado la pasta lo sometemos en un molde de 50ml x 50ml de tres divisiones previamente preparado, comprimiendo suavemente lo damos unos pequeños golpes y pasamos la espátula para enrazar los moldes y después encender el equipo vibrador y colocarlo por un tiempo programado de un minuto, luego sacarlo y llevarlo a la sala de curado por un tiempo de un día.

#### 3.8.6 Desmoldado

Una vez que pasaron un día de reposo los moldes lo desmoldamos obteniendo los morteros de forma de cubos lo etiquetamos de acuerdo al tipo de cemento para luego llevarlo a la cámara húmeda para su reposo de los demás días que queda de 3, 7 y 28 días.

#### 3.8.7 Curado

El curado se realiza en la cámara humedad a mas de 60% con una temperatura de 25 grados centígrados y reposando por los demás días que queda para su prueba de compresión.

### 3.8.8 Ruptura o compresión

Una vez cumplido el tiempo de reposo, se saca la muestra lavamos, limpiamos y secamos para colocarlos en la base del equipo de prensa hidráulica previamente encendida y preparada oprimimos el botón de operación del equipo y esperamos hasta que da un sonido de rotura y él contómetro se paraliza, anotamos el dato obtenido en kg fuerza por centímetro cuadrado para convertir en PSI/Pul<sup>2</sup>

**Figura 11**

*Elaboración de ruptura del mortero*



Nota: Tomada en UNACEM 2023, cubos de 50mm x 50mm.

## 3.9 Plan de tabulación y análisis de datos estadísticos

### 3.9.1 Plan de tabulación

El plan de tabulación es el conjunto de especificaciones de



tabulación, que el analista de investigación esboza todas las tablas, estadísticas y otras peticiones especiales necesarias para su análisis que servirá de guía para obtener los datos en resultados significativos (Batís consultores 2021).

Los datos obtenidos en las pruebas fisicoquímicos inicial y final en el proceso del cemento y análisis fisicoquímico obtenidos en la materia prima

**Tabla 8**

*Datos de los primeros ensayos de la materia prima*

Materia	H2O	CaO	Al2O3	Fe2O3	SiO2	SO3
Clinker	0.28	0.31	2.56	13.46	-	-
Concreto R.	10.34	26.78	7.96	2.84	41.96	0.99
Yeso	3.48	-	-	-	-	44.36

*Nota.* Elaboración propia

Análisis fisicoquímico obtenidos en el producto (cemento adicionado de concreto)

*Tabla 9*

*Datos de primeros ensayos fisicoquímico del cemento RC*

No Pruebas	H2O	Malla %	Blaine cm <sup>2</sup> /g	CaO %	SiO2 %	Al2O3 %	Fe2O3 %	SO3 %
1	2.1	12	6980	52.76	28.54	6.71	3.33	1.64
2	0.64	2.9	4896	48.28	31.14	6.84	3.13	2.51
Patrón	0.52	1.8	4780	50.69	29.37	6.81	3.16	2.62

*Nota.* Elaboración propia

### 3.9.2 Análisis de datos estadísticos

Los datos por sí misma no se dan respuesta a los que se estudia es necesario determinar cómo se van a agrupar, clasificar y resumir para dar a que signifiquen algo, esta es el trabajo que se realiza posteriormente de la recolección de datos.

**Tabla 10** *Plan estadístico y tabulación*

Objetivo	Hipótesis	Variable	Plan de tabulación
Formular la adición óptima del RC para elaborar cemento.	La adición óptima de RC permiten la fabricación de cemento en la empresa UNACEM Perú S.A	independiente	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recopilación de datos de la ficha de reporte en tablas estadísticas.</li> <li>• Gráficos estadísticos, comparación e interpretación.</li> </ul>
Realizar ensayos fisicoquímicos de la MP y del cemento ARC.	Los ensayos fisicoquímicos de la MP y del cemento ARC permiten la fabricación de cemento en la empresa UNACEM Perú S.A	Independiente y dependiente	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recopilación de datos de la ficha de control en tablas estadísticas.</li> <li>• Prueba de anova con minitab.</li> <li>• Gráficos estadísticos e interpretación.</li> </ul>
Determinar ensayos de resistencia a la compresión del cemento ARC.	Los ensayos de la resistencia a la compresión del cemento ARC sí permiten la fabricación de cemento en la empresa UNACEM Perú S.A.	Dependiente	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recopilación de datos de la ficha de control en tablas estadísticas.</li> <li>• Prueba de anova con minitab.</li> <li>• Gráficos estadísticos e interpretación.</li> </ul>

*Nota.* Elaboración propia

### 3.10 Consideraciones éticas

- ❖ Respeto: El estudio busca disminuir la contaminación ambiental que ejerce la industria del cemento en todo sus procesos respetando amigablemente al medio ambiente.

- ❖ Veracidad: Los datos obtenidos de los resultados de investigación son verdaderas por que se realizó el experimento dentro del laboratorio químico de la empresa UNACEM.
- ❖ Justicia: El medio ambiente es de todos, y debe ser una ley cuidar de ella.

## IV. RESULTADOS

A continuación, presentamos los resultados obtenidos de la ficha de observación que se muestran en el anexo N°2 de los dos experimentos de adición de concreto reciclado en el proceso de elaboración del cemento, se tomaron 4 muestras para cada ensayo fisicoquímico.

### 4.1 Formulación de adición óptima del RC para elaborar cemento

En esta tabla N°14 de las características fisicoquímicas del estudio de experimento, se muestran los resultados promedios obtenidos de los análisis físicos y químicos de la muestra del cemento tipo I que es la muestra control (GC) y las muestras de experimento que es el cemento adicionado de reciclado de concreto el (GE1 y GE2).

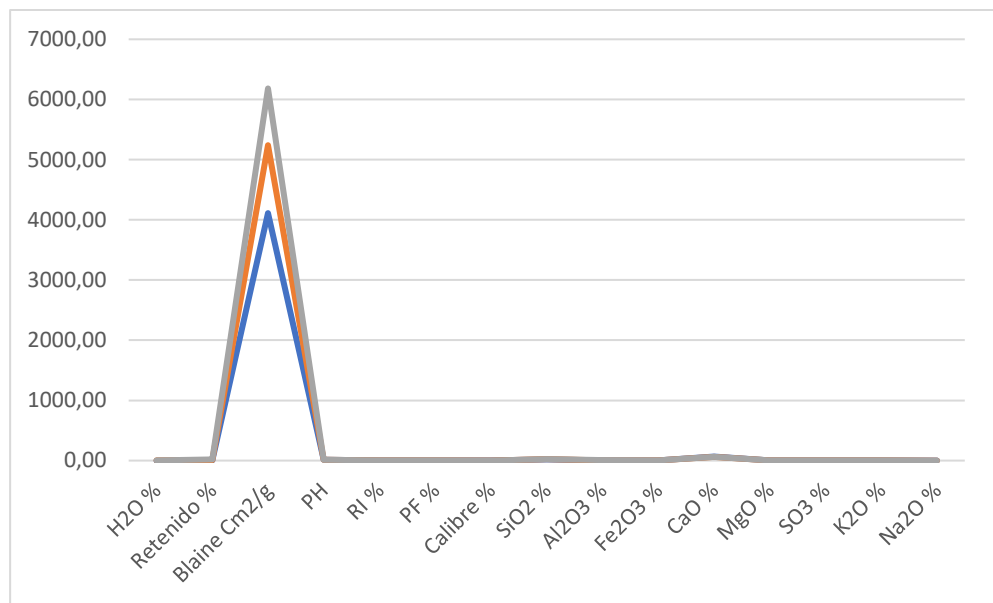
**Tabla 11**

*Características fisicoquímicas del estudio de experimento*

<b>PROPIE\G.ENSAYOS</b>	<b>GC</b>	<b>GE1</b>	<b>GE2</b>
H2O %	0.29	0.70	0.95
Retenido %	2.99	10.20	19.45
Blaine Cm2/g	4112.00	5240.25	6183.25
PH	13.04	12.89	12.52
RI %	0.60	1.23	1.45
PF %	2.26	4.25	4.25
Calibre %	0.72	0.07	0.04
SiO2 %	20.25	22.73	23.55
Al2O3 %	4.54	5.68	5.80
Fe2O3 %	3.34	3.32	3.33
CaO %	65.22	61.10	59.43
MgO %	1.71	1.83	1.86
SO3 %	2.58	2.82	2.84
K2O %	0.63	0.97	1.02
Na2O %	0.03	0.16	0.20

*Nota.* Elaboración propia

Como podemos observar mediante el análisis de comparación los resultados físicos y químicos del GE1 y GE2 frente al GC, quedando el GE1 con resultados más próximo al GC y siendo así como la formulación óptima para elaborar cemento de adición de reciclado de concreto con una adición del 10% de material de reciclado de concreto.



## 4.2 Realizando los ensayos fisicoquímicos de la MP y del cemento ARC

### 4.2.1 Ensayos físicos y químicos de las materias primas.

Los ensayos de control de calidad de las materias primas se realizaron al Clinker y al reciclado de concreto por vía instrumental y al yeso por vía clásica, donde se determinaron sus propiedades físicas y químicas para luego comparar con los parámetros de control. Así como se muestra en la tabla N°15 de datos obtenidos

del ensayo fisicoquímico de la materia prima.

*Tabla 12*

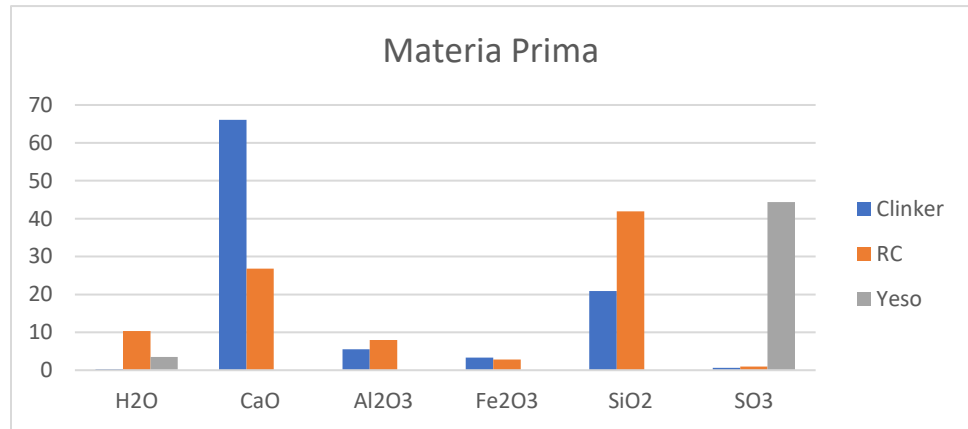
*Resultados de ensayo fisicoquímico de las materias primas*

Materia	Datos de MP para el GE					
	H2O	CaO	Al2O3	Fe2O3	SiO2	SO3
Clinker	0.28	66.12	5.56	3.30	20.92	0.62
Concreto R.	10.34	26.78	7.96	2.84	41.96	0.99
Yeso	3.48	-	-	-	-	44.36
Materia	Datos de MP para el GC					
	H2O	CaO	Al2O3	Fe2O3	SiO2	SO3
Clinker	0.26	66.58	5.32	3.48	21.53	0.56
Puzolana	9.8	6.8	13.7	4.2	62.04	0.89
Yeso	4.03	-	-	-	-	43.02

*Nota.* Elaboración propia

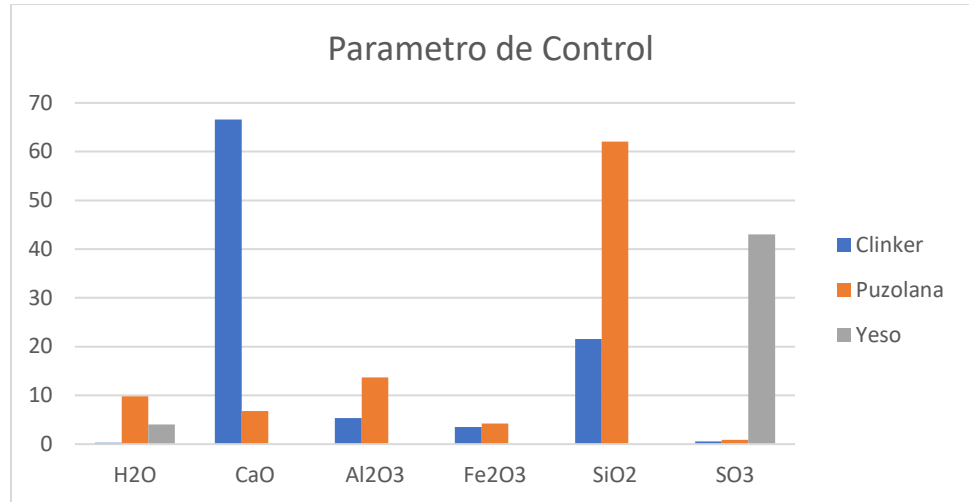
**Gráfico 1**

*Resultados de datos de ensayo fisicoquímico de las materias primas*



**Gráfico 2**

*Resultados de ensayo fisicoquímico de los parámetros de control*



*Nota.* Elaboración propia

Como podemos observar en la grafico N°1 de los datos obtenidos de la materia prima y el grafico N°2 de los datos de control, tienden una similitud próxima, que el Si2O del concreto reciclado superando el 40%, donde nos indica que si cumplen con los parámetros establecidos para elaborar cementos adicionados.

#### 4.2.2 Ensayos físicos químicos del cemento adicionado de reciclado de concreto.

Para esta investigación se tomaron 2 experimentos diferentes en proceso simultaneo con la muestra control de acuerdo a la tabla N°8 del diseño de investigación.

##### ❖ Experimento 1 (E1)

El primer experimento de estudio se elaboró el cemento ARC con una adición de reciclado de concreto el 10%, Clinker el 85% y yeso el 5%, realizados 4 ensayos según en el muestreo estadístico, obteniendo los resultados como se muestran en la tabla N°16.

**Tabla 13**

*Resultados de ensayos del cemento adicionado al 10%*

Ensayos Fisicoquímicos del E1					
Propiedades	1	2	3	4	Promedio
H2O %	0.72	0.68	0.7	0.71	0.70
Retenido %	10.5	9,85	9.9	10.2	10.20
Blaine Cm2/g	5220	5248	5255	5238	5240
PH	12.92	12.84	12.9	12.91	12.89
PF %	4.28	4.25	4.22	4.24	4.25
SiO2 %	23.54	23.5	23.55	23.58	23.54
Al2O3 %	5.82	5.79	5.8	5.81	5.81
Fe2O3 %	3.31	3.33	3.32	3.34	3.33
CaO %	59.53	58.99	59.62	59.48	59.41
MgO %	1.85	1.87	1.86	1.85	1.86
SO3 %	2.65	2.84	2.83	2.85	2.79
K2O %	1.04	1.03	1.02	1.02	1.03
Na2O %	0.21	0.22	0.19	0.20	0.21

*Nota.* Elaboración propia

❖ Experimento 2 (E2)

En el segundo experimento se estudió se elaboró cemento ARC con la adición de reciclado de concreto al 20%, Clinker al 75% y yeso el 5%, obteniendo resultados diferentes en el factor del retenido y Blaine. Así como se muestra en la tabla N°17 de ensayos fisicoquímicos de experimento 2.

**Tabla 14**

*Resultados de ensayos del cemento adicionado al 20%*

Ensayos Fisicoquímicos del E2					
Propiedades	1	2	3	4	Promedio



H2O %	0.98	0.95	0.92	0.94	0.95
Retenido %	19.3	19.5	19.89	19.12	19.45
Blaine Cm2/g	6179	6147	6191	6216	6183
PH	12.53	12.5	12.52	12.54	12.52
PF %	4.28	4.25	4.22	4.24	4.25
SiO2 %	23.54	23.5	23.55	23.58	23.54
Al2O3 %	5.82	5.79	5.8	5.81	5.81
Fe2O3 %	3.31	3.33	3.32	3.34	3.33
CaO %	59.53	58.99	59.62	59.48	59.41
MgO %	1.85	1.87	1.86	1.85	1.86
SO3 %	2.85	2.84	2.83	2.85	2.84
K2O %	1.04	1.03	1.02	1.02	1.03
Na2O %	0.21	0.22	0.19	0.2	0.21

---

*Nota.* Elaboración propia

❖ Grupo de control (GC) Sin adición, NTP, Cemento tipo I

Consiste al cemento tipo I de uso general que tiene el 95% de Clinker y el 5% de yeso. Se tomo como muestra de control para esta investigación experimental, cuyos datos básicos se muestran en la tabla N°16 (referidos en la NTP 334.009:2020, NTP 334.082:2020 y NTP 334.090:2020 o ASTM C150/C150M – 20, ASTM C595/C595M – 20 y ASTM C 1157/C1157M – 20) como grupo de control sin adición.

**Tabla 15***Datos del GC cemento Tipo I, sin adición*

Requisitos Fisicoquímico					
TIPOS	I	II	II	IV	GU
H2O %					
Retenido %					
Blaine Cm2/g min	2600				
PH					
PF % Max	10				10
SiO2 %					
Al2O3 %					
Fe2O3 %					
CaO %					
MgO % Max	6				6
SO3 % Max	4				4
K2O %					
Na2O %					

*Nota.* El peruano 2022, NTP-2020 y su modificatoria.

De acuerdo con el marco teórico de esta investigación y las pruebas de análisis fisicoquímico realizados, hemos obtenido los resultados en la ficha de recolección de datos que consta de 4 características físicas y 9 características químicas del concreto reciclado en comparación con la muestra control que es el cemento tipo I. Esta es la premisa que sustenta la información contenida en las siguientes tablas.

#### 4.2.3 Análisis y resultados de las propiedades fisicoquímico del GE y GC.

## Prueba de hipótesis

### Hipótesis

Ho:  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$  (Las medias de los tratamientos son iguales)

Hi:  $\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4$  (Las medias de los tratamientos no son iguales)

### Nivel de la significancia

$\alpha = 0.05$

### Prueba estadística

ANOVA

### Cálculos y resultados

**Tabla 16**

*Resultados de análisis de varianza*

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajust.</b>	<b>MC Ajust.</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>
Factor	12	295890735	24657561	409.58	0.000
Error	143	8608833	60202		
Total	155	304499567			

*Nota.* Elaboración propia

p-valor = 0.00  $\leq$   $\alpha = 0.05$  se rechaza Ho, es decir las medias de los experimentos no son iguales. Al menos uno de las propiedades del experimento es diferente a los otros. Por lo tanto, tomamos la hipótesis alternativa

**Tabla 17**

*Resultados de resumen del modelo*

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
245.360	97.17%	96.94%	96.64%

*Nota.* Elaboración propia

El R cuadrado es 97.17% nos indica que se ajustara mejor el modelo de estudio a los datos y el R cuadrado de predicción es 96.64%, nos indica que tiene mayor capacidad de predicción.

**Tabla 18**

*Resultados de las medias del intervalo de confianza*

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
H2O	12	0.6450	0.2845	(-139.3629; 140.6529)
Retenido	12	10.77	6.93	(-129.24; 150.78)
Blaine	12	5179	885	(5038; 5319)
PH	12	12.8167	0.2266	(-127.1912; 152.8246)
PF	12	3.063	0.895	(-136.945; 143.071)
SiO2	12	21.723	1.526	(-118.285; 161.730)
Al2O3	12	5.298	0.561	(-134.710; 145.306)
Fe2O3	12	3.32167	0.02167	(-136.68623; 143.32957)
CaO	12	62.304	2.431	(-77.704; 202.312)
MgO	12	1.8042	0.0530	(-138.2037; 141.8121)
SO3	12	2.7275	0.1309	(-137.2804; 142.7354)
K2O	12	0.8617	0.1737	(-139.1462; 140.8696)
Na2O	12	0.1217	0.0832	(-139.8862; 140.1296)

*Nota.* Elaboración propia, desviación de estudio agrupada=245.360

En esta tabla N°21 nos muestra los intervalos de confianza en relación a la desviación estándar y la media

existe significancia de valor para cada factor obtenidos de la desviación estándar agrupada a 245.3.

**Tabla 19**

*Resultados de las medias de agrupación tukey 95%*

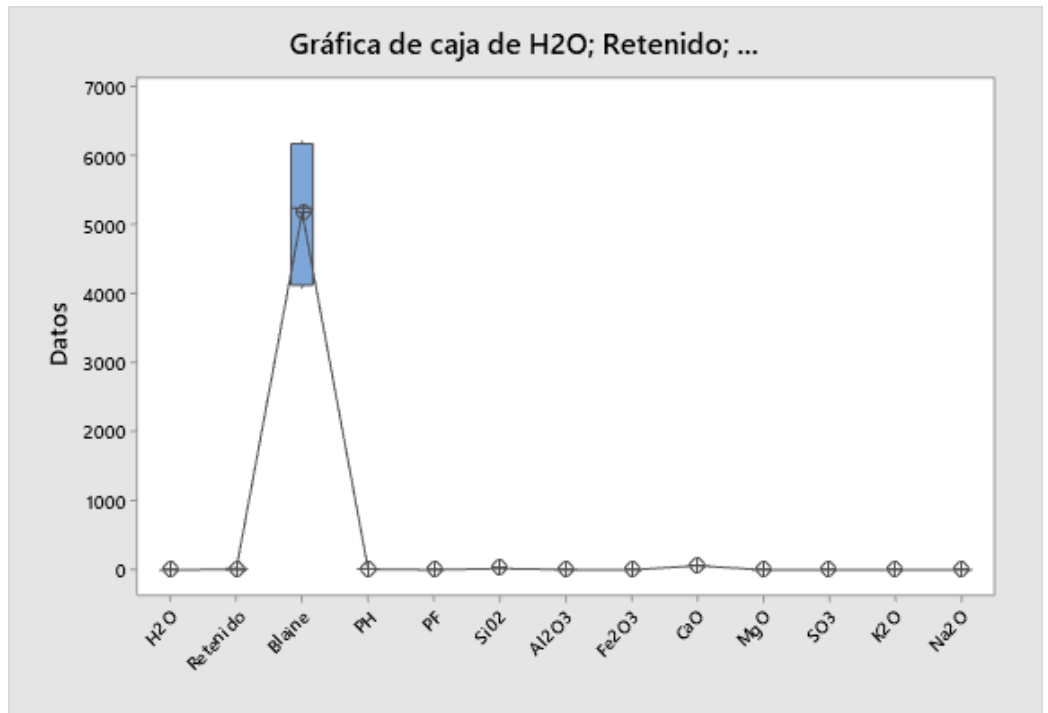
Factor	N	Media	Agrupación
Blaine	12	5179	A
CaO	12	62.304	B
SiO <sub>2</sub>	12	21.723	B
PH	12	12.8167	B
Retenido	12	10.77	B
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12	5.298	B
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12	3.32167	B
PF	12	3.063	B
SO <sub>3</sub>	12	2.7275	B
MgO	12	1.8042	B
K <sub>2</sub> O	12	0.8617	B
H <sub>2</sub> O	12	0.6450	B
Na <sub>2</sub> O	12	0.1217	B

*Nota.* Elaboración propia

En esta tabla N°22 comparamos las propiedades que están agrupadas por letras, donde nos indica que la media que no comparte la letra es diferente a las demás propiedades de la investigación. En este caso es el Blaine.

**Gráfico 3**

*Resultados de ensayo fisicoquímico de Cemento RC*



*Nota.* Elaboración propia de

Como podemos observar en la gráfica N°3 el Blaine es la propiedad diferente a las demás propiedades de la investigación. Pero no es rechazable porque no afecta en la resistencia a la compresión.

#### 4.3 Determinando los resultados obtenidos de la muestra de estudio con la muestra de control en ensayos de la resistencia a la compresión

Continuando en el desarrollo de los resultados, mostramos los datos obtenidos de la resistencia a la compresión de un día, de tres días, de 7 días y 28 días de curado diagnóstico así como se muestra en la tabla N°23.

**Tabla 20**

*Resultados de la resistencia a la compresión*

Resistencia a la Compresión			
Edades	GC psi/pul <sup>2</sup>	E1 psi/pul <sup>2</sup>	E2 psi/pul <sup>2</sup>
1 día	2098	2432	2252
3 días	3520	4131	3443
7 días	4711	4659	4304
28 días	5995	6277	5694

*Nota.* Elaboración propia

Estos resultados de los experimentos E1, E2 y el GC, que consta de tres muestras por cada edad de curado que fueron ensayados y calculados mediante una suma promedio y multiplicado por el factor (0.55) de cada grupo de estudio.

4.3.1 Análisis y resultados de la resistencia a la compresión

Prueba de hipótesis

Hipótesis

Ho:  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3$  (Las medias de los tratamientos son iguales)

Hi:  $\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$  (Las medias de los tratamientos no son iguales)

Nivel de la significancia

$\alpha = 0.05$

Prueba estadística

ANOVA

Cálculos y resultados

**Tabla 21**

*Resultados de análisis de varianza*

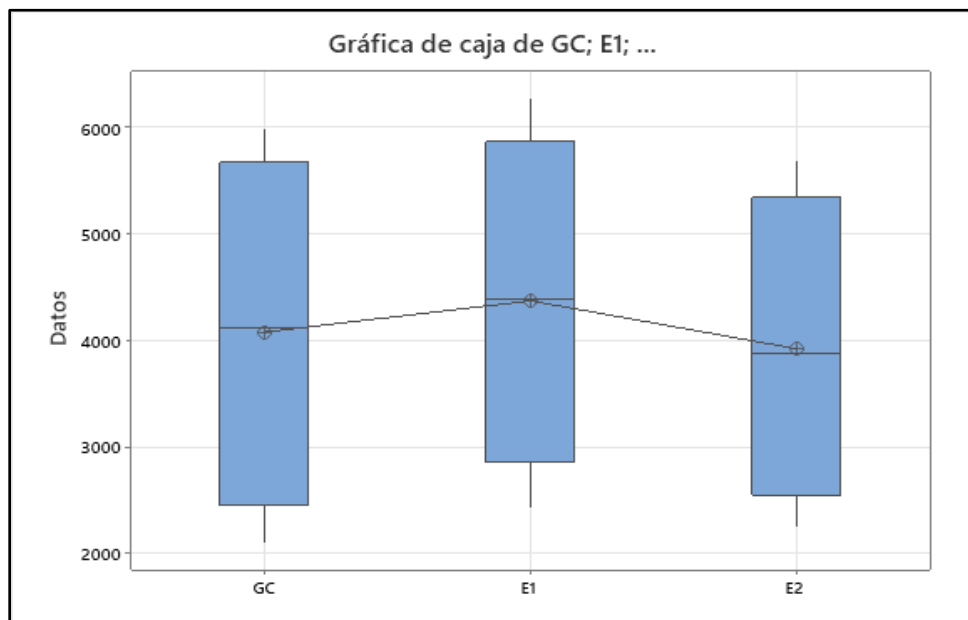
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	2	419755	209877	0.09	0.919
Error	9	22143213	2460357		
Total	11	22562968			

*Nota.* Elaboración propia

p-valor = 0.91  $\geq$   $\alpha$  = 0.05 se acepta  $H_0$ , es decir las medias de los experimentos son iguales.

**Gráfico 4**

*Ensayos de resistencia a la compresión del GE1, GE2 y GC*



*Nota.* Elaboración propia



Como podemos observar en la gráfica N°4 se muestra la igualdad de datos muy cercanos con una tendencia mínima de caída en la resistencia a la compresión en el GC y E2 a comparación del E1 que se mantiene por encima de los 6200 Psi/Pul<sup>2</sup> en 28 días de curado.

## V. DISCUSIÓN

A partir de los resultados obtenidos aceptamos la hipótesis alternativa general en la determinación de los análisis fisicoquímicos de las muestras, donde establece que existe relación entre el reciclado de concreto con la fabricación de cemento, dirigido al problema que genera la industria de la construcción.

Los resultados del experimento están relacionados con la que sostiene (Navarro Ferrer Francisco 2023 en su investigación de cementos alternativos al cemento portland), quien señala que el aumento de los materiales suplementarios en el cemento puro afecta a la resistencia a la compresión, se puede solucionar moliendo los materiales a tamaños micro y nano y también se puede mejorar aún más usando activadores químicos. Es acorde con el estudio desarrollado del GE2 tiende a bajar la resistencia en comparación del GC y GE1.

No es acorde con los estudios realizado del autor (Vega Garro Marcelo Junior 2019) indica que la relación de resistencia a la compresión del concreto elaborado con cementos adicionados y la acción de sulfatos encontramos resultados de resistencias variadas. Debe ser a más adición de sulfatos menor la resistencia y el fraguado más lento.

Pero en lo que también concuerdo con el estudio de (ASOCEM, 2018), menciona que las adiciones con materiales inorgánicos que se incorporan al Clinker para una molienda conjunta o independiente y una vez pulverizados se adicionan al Clinker pulverizado, con esto se da prioridad al cuidado del medio ambiente usando cada vez menos combustibles fósiles, por esta razón usando cementos adicionados se logra disminuir la huella de carbono. Es acorde, al reciclado de concreto por ser filer inorgánico que cumple con las mismas características químicas del cemento portland tipo I.

Al mismo tiempo también concordamos con (Viviana Bonavetti) quien menciona en su estudio de investigación del cemento con filer, concluyendo que los

cementos adicionados con filer tienden a bajar la resistencia a la compresión según la adición que se le agrega, significa cuanta más adición tiene el cemento más bajara su resistencia para dicho producto, no se debe usar más del 20% de adición.

## CONCLUSIONES

- Concluimos que la formulación de adición óptima del cemento adicionado al 10% de material reciclado de concreto, 85% de Clinker y 5% de yeso, con el nombre de grupo de experimento uno (GE1), siendo el más óptimo para producir cemento ARC en la empresa UNACEM Perú S.A. por su mayor resistencia a la compresión y los resultados de análisis siendo estos el promedio mayor a 600 psi de datos comparativos al grupo de control (GC).
- Los resultados obtenidos de los análisis físicos químicos de la materia prima tienden una similitud cercana de 41.96% de óxido de sílice del RC frente al 62,04 de óxido de sílice de la puzolana que sirven como adición en cementos adicionados tradicionales, indicando que los elementos químicos del RC son adecuados para producir cemento, por su contenido de sílice y filler carga río.
- Los resultados de los ensayos físicos del retenido de malla y de permeabilidad al aire libre del GE1 y GE2 están por encima del grupo de GC, es por esta razón que el análisis estadístico ANOVA concluye que por lo menos uno de las propiedades del cemento ARC son diferentes, aceptando así la hipótesis alternativa por el valor p que es menor al valor de significancia.
- Durante la realización de la investigación se realizó el análisis de resistencia a la compresión a los morteros elaborados mediante los grupos de estudios (GE1, GE2 y GC), se obtuvo resultados favorables al GE1 alcanzando los 6277 psi/pul<sup>2</sup> superando al GC que alcanzó los 5995 psi/pul<sup>2</sup> en 28 días, concluyendo así que se obtuvo el cemento ARC al 10% y al 20% de forma satisfactoria.

## RECOMENDACIONES

- Deshidratar el RC y realizar pruebas de molienda de cemento con adiciones de diferentes concentraciones usando aditivo de no pegado a las bolas del molino para bajar el porcentaje de retenido en malla.
- Siempre antes del proceso de molienda se debe clasificar y analizar físicamente y químicamente las materias primas para tener una buena homogenización y dosificación del material.
- El cemento ARC es un cemento adicionado, que necesita realizar ensayos físicos y químicos continuos por contener materiales desconocidos con propiedades diferentes al momento de realizar la molienda continua.
- Realizar ensayos a mayores edades para evaluar su resistencia a largo plazo, elaborar este cemento en zonas cercanas de las grandes ciudades como en la ciudad de Lima, planta Atocongo

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Navarro Ferrer Francisco (2022) Cementos Alternativos al Cemento Portland  
[https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/61001/TFM\\_NavarroFrancisco.pdf?sequence=4&isAllowed=y](https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/61001/TFM_NavarroFrancisco.pdf?sequence=4&isAllowed=y)

Vega Garro Marcelo Junior (2019) Análisis comparativo de la resistencia a la compresión del concreto utilizando cementos adicionados sometido a acción de Sulfatos-Ancón, 2019

---

Alcívar Cajas, D. P., & García Vera, D. A. (2021). *Desarrollo de pasta tipo spaghetti y lasagna, sustituyendo harina de trigo por harina de chíá (Salvia hispánica) y harina de maiz (Zea Mays)*. Guayaquil Ecuador: Universidad de Guayaquil. Facultad de Ingeniería Química.

Arancibia Soria, M. Y., & Vivanco Laica, S. V. (2020). *Efecto del propionato de calcio y sorbato de potasio en la vida útil de pre mezclas farináceas a partir de oca (Oxalis tuberosa), achira (Canna edulis), mashua (Tropaeolum tuberosum) y camote (Ipomea batatas)*. Ambato Ecuador: Universidad Técnica de Ambato.

Bohórquez Pérez, Y., & Bonilla Garzón, M. A. (2017). *Caracterización y potencial uso de la raíz achira (Canna Edulis Ker)*. Tolima Colombia: Universidad del Tolima.

Calapi Calapi, M. C. (2010). *Estudio de factibilidad para la creación de una microempresa productora y comercializadora de harina de achira para la ciudad de Quito, 2010*. Sede Quito: Universidad Politécnica Salesiana .

Cartay, R. (26 de febrero de 2020). *Achira (Canna indica) sagú, bijao o capacho: alimento y medicina*. Obtenido de Enciclopedia amazonica al dia: <https://delamazonas.com/plantas-medicinales/achira/>

Chafla Moina, A. L. (2013). *Utilización de tres niveles de harina de Achira (Canna edulis) en la alimentación de pollos Broiler*. Riobamba – Ecuador:

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Guilcapi Chávez , J. P. (2015). *Plan de negocios para la elaboración de harina de achira, fabricación y comercialización de productos de pastelería a base de esta harina*. Quito: Universidad de las Américas.

Idrovo Vallejo, W. A. (21 de 01 de 2010). *Estudio de factibilidad para la producción y comercialización de harina de achira (Canna Edulis) en el cantón Loja*. Obtenido de BIBDIGITAL:  
<http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1292>

Morejón Terán, K. E. (2012). *Utilización del Almidón de Achira en la Elaboración de Repostería Ecuatoriana 2011*. Riobamba Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Naula Lema, M. M. (2016). *Elaboración y valoración nutricional de pan a base de harina de trigo (Triticum aestivum) y almidón de achira (Canna indica), fortificada con suero de leche*. Riobamba Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Ponce, M., Navarrete, D., & Vernaza, M. G. (2018). *Sustitución Parcial de Harina de Trigo por Harina de Lupino (Lupinus mutabilis Sweet) en la Producción de Pasta Larga*. Quito Ecuador: Universidad San Francisco de Quito.

Ramírez Valiente, E. d., & Salazar Miguel, V. F. (2021). *Uso medicinal de la especie Canna indica "achira" en el control de enfermedades de los pobladores del Centro Poblado de Jesús, Cajamarca – 2021*. Cajamarca: UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO.

Rodriguez B., G., & Garcia B., H. R. (2003). *Concepción de un modelo de agroindustria rural para la elaboración de harina y almidón a partir de raíces y tubérculos promisorios, con énfasis en los casos de achira (Canna edulis), arracacha (Arracacia xanthorrhiza) y ñame (Dioscorea sp.)*. Tabaitatá Colombia: CORPOICA.

Salazar Garcés, D. M. (2022). *Caracterización y Aptitud Tecnológica de Residuos Agroindustriales y Cultivos Andinos para el Diseño y Desarrollo de Alimentos*. Madrid: UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID.

Yaucan, Jefferson , D. N., & Valverde Tumbaco, J. B. (2022). *Sustitución parcial de la harina de trigo (*triticum aestivum*) por la harina de centeno (*secale cereale*) y garbanzo (*cicer arietinum*) para la elaboración de una pasta larga (spaghetti) y aplicación culinaria en la ciudad de Guayaquil*. Guayaquil Ecuador: Universidad de Guayaquil. Facultad de Ingeniería Química.

<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2780390/D.S.%20N%C2%BA%20001-2022-PRODUCE.pdf.pdf>



## **NOTA BIOGRÁFICA**



Bachiller Walter Reyes Doria, nació en el Distrito de Amarilis provincia y Departamento de Huánuco en el año de 1978, en un hogar conformado por sus 5 hermanos, 3 hermanas y sus padres.

Desde muy niño me gustaba estudiar y soñaba con tener una profesión en el futuro, por esta razón mis padres decidieron que debería estudiar en un colegio público, es así como curse los estudios primarios en la escuela N°32125 del centro poblado de Matamarca y la secundaria en el colegio Nacional La Esperanza en la actualidad es Colegio Nacional Javier pulgar Vidal del centro poblado menor de La Esperanza Amarilis Huánuco, realice el estudio técnico superior en el instituto público Andrés Avelino Cáceres Dorregaray de Cajas Huancayo en la carrera profesional de Tecnología de Análisis Químico y posterior los estudios universitarios en la Universidad Alas Peruanas en la facultad de ingeniería y arquitectura de la carrera profesional de Ingeniería Industrial, obteniendo el grado de bachiller en el año del 2019 y por ultimo alumno del programa de fortalecimiento en investigación – PROFI de la universidad Nacional Hermilio Valdizán de Huánuco, institución que permitió fortalecer y desarrollar el trabajo de investigación científica (tesis), actualmente laborando como oficial de laboratorio químico en la empresa UNACEM Perú S.A.

Persona fascinada por la investigación, adquiriendo experiencia en el campo de control de calidad y proceso.

# **ANEXOS**

### Matriz de consistencia

“Reciclado de concreto para la fabricación de cementos adicionados en la empresa UNACEM Perú S.A.”

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	METODOLOGÍA
<p><b>Problema general</b> ¿Cuáles son los parámetros para la fabricación de cemento ARC en la empresa UNACEM Perú S.A.?</p> <p><b>Problema específica</b> <b>PE1.</b> ¿Cuál es la formulación de adición óptima del RC para elaborar cemento? <b>PE2.</b> ¿Cuáles son los análisis fisicoquímicos de la MP y del cemento ARC? <b>PE3.</b> ¿Cómo determinar el ensayo de resistencia a la compresión del cemento ARC?</p>	<p><b>Objetivo general</b> Obtener el cemento ARC en la empresa UNACEM Perú S.A.</p> <p><b>Objetivo específico</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Formular la adición óptima del RC para elaborar cemento.</li> <li>• Realizar el análisis fisicoquímico de la MP y del cemento ARC.</li> <li>• Determinar el ensayo de la resistencia a la compresión del cemento ARC.</li> </ul>	<p><b>Hipótesis general</b> <b>Ho:</b> Los parámetros de RC no permiten la fabricación de cemento en la empresa UNACEM Perú S.A. <b>Hi:</b> Los parámetros de RC permiten la fabricación de cemento en la empresa UNACEM Perú S.A.</p> <p><b>Hipótesis específica</b> <b>H1o:</b> La adición óptima de RC no permiten la fabricación de cemento en la empresa UNACEM Perú S.A. <b>H1i:</b> La adición óptima de RC permiten la fabricación de cemento en la empresa UNACEM Perú S.A. <b>H2o:</b> Los ensayos fisicoquímicos de la MP y del cemento ARC no permiten la fabricación de cemento en la empresa UNACEM Perú S.A. <b>H2i:</b> Los ensayos fisicoquímicos de la MP y del cemento ARC permiten la fabricación de cemento en la empresa UNACEM Perú S.A. <b>H3o:</b> Los ensayos de la resistencia a la compresión del cemento ARC no permiten la fabricación de cemento en la empresa UNACEM Perú S.A. <b>H3i:</b> Los ensayos de la resistencia a la compresión del cemento ARC permiten la fabricación de cemento en la empresa UNACEM Perú S.A.</p>	<p>Reciclado de concreto</p>	<p>Proceso de reciclado de concreto</p> <p>Ensayos</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Escombros</li> <li>• Clasificación</li> <li>• Transporte</li> <li>• Trituración</li> <li>• Acopio</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Físicos</li> <li>• Químicos</li> </ul>	<p><b>Población y muestra</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Población: 3kg/GE</li> <li>• Muestra: 1kg/GE y GC = 12 morteros, total 36.</li> </ul> <p><b>Nivel, tipo y diseño</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nivel: Aplicada</li> <li>• Tipo: Correlacional</li> <li>• Diseño: Experimental con grupo de control. RG1 X 01 RG2..... 02</li> </ul> <p>Donde: RG1 y RG2: Grupo de control X: Manipulación de la variable i. 01 y 02: Pospruebas</p> <p><b>Método, técnicas e instrumentos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Método: Observación</li> <li>• Técnica: Observación</li> <li>• Instrumentos: fichas de observación de datos</li> </ul>
			<p>Fabricación de cemento</p>	<p>Proceso de molienda del cemento</p> <p>Ensayos</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recepción MP</li> <li>• Zarandeado</li> <li>• Chancado</li> <li>• Secado</li> <li>• Dosificación</li> <li>• Molienda</li> <li>• Almacenado</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Físicos</li> <li>• Químicos</li> <li>• Resistencia C.</li> </ul>	

## Operacionalización de variables

“Reciclado de concreto para la elaboración de cemento adicionado en la empresa UNACEM Perú S.A.”

VARIABLES	DIMENSIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍTEMS	INSTRUMENTOS	TIPO DE VARIABLES	ESCALA
VI = V1  Reciclado de Concreto	El reciclado de concreto, es el concreto de desecho que es reutilizado o recuperado para elaborar nuevo cemento y concreto.	La variable es clasificada entre el concreto y el ladrillo calcinado para ser triturado y tomado una muestra para el control de calidad.	Proceso de Reciclado de Concreto	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Escombros</li> <li>• Clasificación</li> <li>• Transporte</li> <li>• Trituración</li> <li>• Acopio</li> </ul>	Kg Cm Kg Cm Kg	Fichas de recolección de datos	Cuantitativa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 5 a 10kr</li> <li>• 10 a 20kg</li> <li>• 10 a 20kg</li> <li>• 5 a 7cm</li> <li>• 10kg</li> </ul>
			Ensayos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Físicos</li> <li>• Químicos</li> </ul>	% %	Ficha de recolección de datos		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 5g a 10g</li> <li>• Según MP</li> </ul>
VD = V2  Fabricación de cemento	La fabricación del cemento inicia con la explotación de la caliza y otras MP que son chancados, molidos y calcinados para obtener Clinker y ser molido en conjunto con yeso y embolsado de 42.5 kg.	La variable es extraída, triturada, molida y calcinada para obtener Clinker, este material es molido con RC y yeso obteniendo cemento ARC y su respectivo control de calidad.	Proceso de Molienda de Cemento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recepción MP</li> <li>• Zarandeado</li> <li>• Chancado</li> <li>• Secado</li> <li>• Dosificación</li> <li>• Molienda</li> <li>• Almacenado</li> <li>• Embolsado</li> </ul>	Kg Kg Kg Kg % Kg kg	Ficha de recolección de datos	Cuantitativa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 a 3</li> <li>• 3</li> <li>• 2 a3</li> <li>• 10</li> <li>• &gt;30% 45um</li> </ul>
			Ensayos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Físicos</li> <li>• Químicos</li> <li>• Resistencia a la Compresión</li> </ul>	Cm2/gr % Psi/pul2	Ficha de recolección de datos		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 a 5</li> <li>• según tipo</li> <li>• según tipo</li> </ul>

## Consentimiento informado

### Autorización de consentimiento

La presente investigación “RECICLADO DE CONCRETO PARA LA FABRICACIÓN DE CEMENTO EN LA EMPRESA UNACEM PERÚ S.A.” es desarrollada por el Bachiller en Ingeniería Industrial Walter Reyes Doria, cuyo objetivo es “OBTENER EL CEMENTO ARC EN LA EMPRESA UNACEM PERÚ S.A.”.

Yo \_\_\_\_\_ identificado con DNI \_\_\_\_\_ entiendo que la información registrada será confidencial y sólo conocida por el equipo de investigación. Además, mi identidad será conocida solamente por los investigadores, ya que mis datos serán registrados con un pseudónimo. También entiendo que la información será procesada privilegiando el conocimiento compartido y de ninguna manera se podrá identificar mis respuestas y opiniones en la etapa de publicación de resultados.

Sí, acepto voluntariamente brindar información oportuna en este estudio.

Firma \_\_\_\_\_

Fecha \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

## Descripción de actividades

<b>CRONOGRAMA 2023</b>	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto
Planteamiento del problema								
Formulación marco teórico								
Elaboración de matriz "Operacionalización de variable"								
Operacionalización de Hipótesis								
Definición de la metodología, población y muestra								
Elaboración y aplicación de los instrumentos (Piloto)								
Redacción del proyecto								
Aprobación mediante resolución del proyecto								
Elaboración y aplicación a la población definida								
Recolección y análisis de la información								
Trabajos de campo								
Procesamiento y presentación de datos								
Discusión de los resultados, conclusiones								
Redacción y entrega del borrador								

**fichas de recolección de datos**

<b>FICHA N°01</b>					
Nombre del Proyecto:	Reciclado de concreto para la fabricación de cemento en la empresa UNACEM Perú S.A.				
Investigador:	Reyes Doria Walter				
Objetivo:	Determinar los ensayos fisicoquímicos de las materias primas				
Proceso:	Elaboración de cemento ARC				
Indicador	Ensayos químicos				
Lugar:	División química				
Formula:	$(p1-p2) \times 100$ , p. retenido x factor de malla, factor Blaine x $\sqrt{t}$ , DRX, FRX				
Fecha:	05/07/2023				
<b>Ensayos fisicoquímicos de las MP</b>					
Propiedades	Clinker	Puzolana	RC	Caliza	Yeso
H2O %	0.28	9.80	10.34		3.48
Retenido %					
Blaine Cm2/g					
PH					
PF %					
Calibre %					
SiO2 %	20.92	62.04	41.962		
Al2O3 %	5.56	13.7	7.964		
Fe2O3 %	3.30	4.20	2.843		
CaO %	66.12	6.80	26.787		
MgO %			2.852		
SO3 %	0.62	0.89	0.998		44.36
K2O %			2.860		
Na2O %			0.269		
P2O5 %					
Mn2O3 %					

## FICHA N°02

Nombre del Proyecto:	Reciclado de concreto para la fabricación de cemento en la empresa UNACEM Perú S.A.
Investigador:	Reyes Doria Walter
Objetivo:	Determinar los ensayos fisicoquímicos del cemento ARC
Proceso:	Elaboración de cemento ARC
Indicador	Ensayos físicos, químicos
Lugar:	División química UNACEM
Formula:	$(p1-p2) \times 100$ , p. retenido x factor de malla, factor Blaine x $\sqrt{t}$ , DRX, FRX
Fecha:	05/07/2023

### Ensayos fisicoquímicos de GE1

N° Ensayos	1	2	3	4	Promedio
H2O %	0.72	0.68	0.7	0.71	
Retenido %	10.5	9,85	9.9	10.2	
Blaine Cm2/g	5220	5248	5255	5238	
PH	12.92	12.84	12.9	12.91	
RI	1.23				
PF %	4.28	4.25	4.22	4.24	
Calibre %	0.070				
SiO2 %	21.888	21.913	23.55	23.58	
Al2O3 %	5.545	5.546	5.8	5.81	
Fe2O3 %	3.310	3.309	3.32	3.34	
CaO %	62.703	62.608	59.62	59.48	
MgO %	1.812	1.812	1.86	1.85	
SO3 %	2.793	2.793	2.83	2.85	
K2O %	0.925	0.922	1.02	1.02	
Na2O %	0.152	0.152	0.19	0.20	
P2O5 %	0.095	0.097			
Mn2O3 %	0.117	0.116			
C3S %	56.600				
C2S %	20.300				
C3A %	2.000				
C4AF %	13.300				



### FICHA N°03

Nombre del Proyecto:	Reciclado de concreto para la fabricación de cemento en la empresa UNACEM Perú S.A.				
Investigador:	Reyes Doria Walter				
Objetivo:	Determinar los ensayos fisicoquímicos del cemento ARC				
Proceso:	Elaboración de cemento ARC				
Indicador	Ensayos físicos, químicos				
Lugar:	División química UNACEM				
Formula:	$(p_1-p_2) \times 100$ , p. retenido x factor de malla, factor Blaine x $\sqrt{t}$ , DRX, FRX				
Fecha:	05/07/2023				
Ensayos fisicoquímicos de GE2					
N° Ensayos	1	2	3	4	Promedio
H2O %	0.98	0.95	0.92	0.94	
Retenido %	19.3	19.5	19.89	19.12	
Blaine Cm2/g	6179	6147	6191	6216	
PH	12.53	12.5	12.52	12.54	
RI					
PF %	4.28	4.25	4.22	4.24	
Calibre %	0.040				
SiO2 %	23.554	23.5	23.55	23.58	
Al2O3 %	5.805	5.79	5.8	5.81	
Fe2O3 %	3.326	3.33	3.32	3.34	
CaO %	59.622	58.99	59.62	59.48	
MgO %	1.860	1.87	1.86	1.85	
SO3 %	2.831	2.84	2.83	2.85	
K2O %	1.025	1.03	1.02	1.02	
Na2O %	0.191	0.22	0.19	0.2	
P2O5 %	0.101				
Mn2O3 %	0.114				
C3S %	53.50				
C2S %	20.30				
C3A %	1.50				
C4AF %	13.10				

## SIGLAS O ACRÓNIMOS

- ❖ ARC: Adicionado de reciclado de concreto.
- ❖ ASOCEM: Asociación de productores de cemento.
- ❖ ASTM: Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales
- ❖ (American Society for Testing and Materials).
- ❖ CPO: Cemento portland ordinario.
- ❖ CSA: Cemento sulfoaluminato cálcico.
- ❖ CSS: Cementos super sulfatados.
- ❖ DRX: Difracción por rayos x.
- ❖ FICEM: federación internación de cemento.
- ❖ FRX: Fluorescencia por rayos x.
- ❖ GC: Grupo de control.
- ❖ GE1: Grupo de estudio uno.
- ❖ GE2: Grupo de estudio dos.
- ❖ MP: Materias primas.
- ❖ NTP: Norma técnica peruana.
- ❖ OFICEM: Agrupación de Fabricantes de Cementos en España.
- ❖ PSI: Libras por pulgada cuadrada (pound per square inch).
- ❖ RC: Reciclado de concreto.
- ❖ S.A: Sociedad anónima.
- ❖ SCM: Materiales suplementarios.
- ❖ UNACEM: Unión andina de cementos.

## Formato de validación por expertos

Nombre del experto: \_\_\_\_\_

Especialidad: ISO 45001

*“Calificar con 1, 2, 3 o 4 cada ítem respecto a los criterios de relevancia, coherencia, suficiencia, y claridad”*

**RELEVANCIA (I) COHERENCIA (II) SUFICIENCIA (III) CLARIDAD (IV)**

DIMENSIÓN	ÍTEM	I	II	III	IV	SUB TOTAL
Ensayos físicos	Balanza Térmica Metler Toledo	4	4	4	4	16
	Chancadora de mandíbula Gilson	4	4	4	4	16
	Malla 5mm Nacional	4	4	4	4	16
Ensayos químicas	Balanza analítica Sartorius	4	4	4	4	16
	Molino vibrador Gilson	4	4	4	4	16
	Equipo de Prensa de pastilla Gilson	4	4	4	4	16
	Equipo de Rayos X QCX5	4	4	4	4	16
Proceso	Balanza Sartorius	4	4	4	4	16
	Molino de bolas Nacional	4	4	4	4	16
Ensayos físicos	Balanza térmica Meter Toledo	4	4	4	4	16
	Equipo Alphine, Malla 45um	4	4	4	4	16
	Equipo Blaine Tony	4	4	4	4	16
Ensayos químicas	Balanza analítica Sartorius	4	4	4	4	16
	Molino vibrador Gelzeg	4	4	4	4	16
	Prensa de pastilla Gelzeg	4	4	4	4	16
	Equipo de Rayos X QCX5	4	4	4	4	16
	Equipo Difractómetro Quimiqs	4	4	4	4	16
	Horno eléctrico Compay Gilson	4	4	4	4	16
Morteros	Balanza Sartorius	4	4	4	4	16
	Maquina Batidora Gilson	4	4	4	4	16
	Maquina vibrador Nacional	4	4	4	4	16
	Celda temperada Gilson	4	4	4	4	16
	Prensa hidráulica Gilson	4	4	4	4	16
<b>TOTALES</b>		<b>92</b>	<b>92</b>	<b>92</b>	<b>92</b>	<b>368</b>

¿Hay alguna dimensión o ítem que no fue evaluada? SI ( ) NO ( X ) En caso de SI, ¿Qué dimensión o ítem falta?

DECISIÓN DEL EXPERTO: El instrumento debe ser aplicado: SI ( X ) NO ( )

\_\_\_\_\_  
Firmas y sello del experto



**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS  
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO INDUSTRIAL**

En la ciudad Universitaria de cayhuayna a los diecisiete días del mes de noviembre del año 2023, siendo las 18:00 horas, en cumplimiento del Reglamento General de Grados y Títulos, y a través de la plataforma de video conferencia Cisco Webwex: <https://unheval.webex.com/unheval/ldr.php?RCID=5b41387ca91f9f7b49a1c72f3e878e2a> se reunieron los miembros del jurado, designados según **RESOLUCIÓN N° 645-2023-UNHEVAL/FIIS-D**, de fecha 09. **Noviembre 2023**, para participar en la sustentación de Tesis, Titulada **"RECICLADO DE CONCRETO PARA LA FABRICACIÓN DE CEMENTO EN LA EMPRESA UNACEM PERÚ S.A."** Presentado por el bachiller, **WALTER REYES DORIA** del PROGRAMA DE FORTALECIMIENTO EN INVESTIGACIÓN-PROFI, para obtener el Título Profesional de Ingeniero Industrial. Integrado por los siguientes Jurados:

**Mg. Oscar Ballarte Zevallos** PRESIDENTE  
**Mg. Ronal Visag Salas** SECRETARIO  
**Mg. José Mallqui Alvarado** VOCAL

El aspirante: **WALTER REYES DORIA** procedió al acto de defensa de su tesis:

- Exposición de la tesis
- Respondiendo las preguntas formuladas por los miembros del Jurado.

Concluido el acto de defensa, cada miembro del Jurado procedió a la evaluación del aspirante al Título de Ingeniero Industrial, teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- Presentación personal
- Exposición: el problema a resolver, hipótesis, objetivos, resultados, conclusiones, los aportes, contribución a la ciencia y/o solución a un problema social y recomendaciones.
- Grado de convicción y sustento bibliográfico utilizados para las respuestas a las interrogantes del Jurado.
- Dicción y dominio de escenario.

Finalizado el Acto de Sustentación de Tesis, se procedió a deliberar y verificar la calificación, habiendo obtenido la nota y resultados siguientes:

TESISTA	1° Miembro	2° Miembro	3° Miembro	PROMEDIO FINAL	PROMEDIO EN LETRAS
WALTER REYES DORIA	16	16	16	16	Dieciséis

Se da por concluido el Acto de Sustentación de Tesis a horas 19:15 en fe de lo cual firmamos.

  
MG. OSCAR BALLARTE ZEVALLOS  
PRESIDENTE

  
MG. JOSÉ MALLQUI ALVARADO  
VOCAL

  
MG. RONAL VISAG SALAS  
SECRETARIO

Leyenda:

\*Resultado: Aprobado o Desaprobado

\*Mención según escala de calificación: (19 a 20: Excelente); (17 a 18: Muy Bueno); (14 a 16: Bueno)

**UNIVERSIDAD NACIONAL "HERMILIO VALDIZÁN" DE HUÁNUCO  
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y DE SISTEMAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA INDUSTRIAL  
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**



## CONSTANCIA DE APTO

De acuerdo al Reglamento General de Grados y Títulos Modificado de la Universidad Nacional Hermilio Valdizán de Huánuco, aprobado con Resolución del Consejo Universitario N° 3412-2022-UNHEVAL, de fecha 24 de octubre de 2022 y en atención a la Tercera Disposición Complementaria, donde estipula que los trabajos de investigación y tesis de pregrado deberán tener una similitud máxima de 35% y en caso de artículos científicos en un máximo de 30%.

Después de aplicado el Software Turnitin, se evidencia una similitud del 16% encontrándose bajo los parámetros reglamentados.

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Industrial:

**“RECICLADO DE CONCRETO PARA LA FABRICACIÓN DE CEMENTO EN LA EMPRESA  
UNACEM PERÚ S.A.”**

Tesista:

**Bach. Ing. Industrial: REYES DORIA, WALTER**

Huánuco, 18 de setiembre de 2023

*Verida del Carmen Pastrana Díaz*

Directora de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería Industrial y de Sistemas

NOMBRE DEL TRABAJO

**RECICLADO DE CONCRETO PARA LA FABRICACIÓN DE CEMENTO EN LA EMPRESA UNACEM PERÚ S.A.**

AUTOR

**REYES DORIA, WALTER**

RECUENTO DE PALABRAS

**18772 Words**

RECUENTO DE CARACTERES

**98919 Characters**

RECUENTO DE PÁGINAS

**104 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**2.4MB**

FECHA DE ENTREGA

**Sep 17, 2023 3:33 PM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Sep 17, 2023 3:34 PM GMT-5**

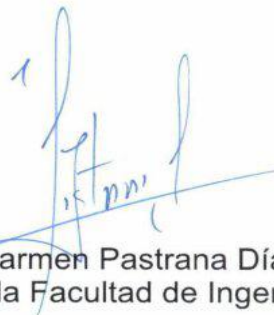
● **16% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos:

- 15% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 8% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 15 palabras)



Nérida del Carmen Pastrana Díaz  
Directora de Investigación de la Facultad de Ingeniería Industrial y de Sistemas

## ● 16% de similitud general

Principales fuentes encontradas en las siguientes bases de datos:

- 15% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 8% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

### FUENTES PRINCIPALES

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	<b>hdl.handle.net</b> Internet	2%
2	<b>repositorio.unheval.edu.pe</b> Internet	2%
3	<b>repositorio.ucv.edu.pe</b> Internet	1%
4	<b>fio.unicen.edu.ar</b> Internet	<1%
5	<b>repositorio.urp.edu.pe</b> Internet	<1%
6	<b>conama.org</b> Internet	<1%
7	<b>coursehero.com</b> Internet	<1%
8	<b>blog.360gradosenconcreto.com</b> Internet	<1%

9	<b>ciencia.lasalle.edu.co</b> Internet	<1%
10	<b>repositorio.uap.edu.pe</b> Internet	<1%
11	<b>repositorio.upla.edu.pe</b> Internet	<1%
12	<b>geotecniafacil.com</b> Internet	<1%
13	<b>repositorio.unu.edu.pe</b> Internet	<1%
14	<b>es.slideshare.net</b> Internet	<1%
15	<b>1library.co</b> Internet	<1%
16	<b>repositorio.unsa.edu.pe</b> Internet	<1%
17	<b>repositorio.umayor.cl</b> Internet	<1%
18	<b>online-tesis.com</b> Internet	<1%
19	<b>repositorio.unal.edu.co</b> Internet	<1%
20	<b>Universidad Tecnológica Centroamericana UNITEC on 2023-06-07</b> Submitted works	<1%



21	<b>Aliat Universidades on 2023-02-11</b>	<1%
	Submitted works	
22	<b>ficem.org</b>	<1%
	Internet	
23	<b>repositorio.uladech.edu.pe</b>	<1%
	Internet	
24	<b>dspace.esPOCH.edu.ec</b>	<1%
	Internet	
25	<b>Universidad Peruana Los Andes on 2023-02-27</b>	<1%
	Submitted works	
26	<b>Universidad Nacional del Centro del Peru on 2021-03-02</b>	<1%
	Submitted works	
27	<b>repositorio.upt.edu.pe</b>	<1%
	Internet	
28	<b>CONSULCONT SAC. "Plan de Cierre de Minas de la Unidad Minera Agru...</b>	<1%
	Publication	
29	<b>Universidad Continental on 2017-12-01</b>	<1%
	Submitted works	
30	<b>Universidad San Francisco de Quito on 2014-10-16</b>	<1%
	Submitted works	
31	<b>cybertesis.unmsm.edu.pe</b>	<1%
	Internet	
32	<b>docplayer.es</b>	<1%
	Internet	

## AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DIGITAL Y DECLARACIÓN JURADA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR UN GRADO ACADÉMICO O TÍTULO PROFESIONAL

### 1. Autorización de Publicación: (Marque con una "X")

Pregrado	X	Segunda Especialidad		Posgrado:	Maestría		Doctorado	
----------	---	----------------------	--	-----------	----------	--	-----------	--

Pregrado (tal y como está registrado en **SUNEDU**)

Facultad	INGENIERÍA INDUSTRIAL Y DE SISTEMAS
Escuela Profesional	INGENIERÍA INDUSTRIAL
Carrera Profesional	INGENIERÍA INDUSTRIAL
Grado que otorga	-----
Título que otorga	INGENIERO INDUSTRIAL

Segunda especialidad (tal y como está registrado en **SUNEDU**)

Facultad	-----
Nombre del programa	-----
Título que Otorga	-----

Posgrado (tal y como está registrado en **SUNEDU**)

Nombre del Programa de estudio	-----
Grado que otorga	-----

### 2. Datos del Autor(es): (Ingrese todos los datos requeridos completos)

Apellidos y Nombres:	REYES DORIA, WALTER							
Tipo de Documento:	DNI	X	Pasaporte		C.E.		Nro. de Celular:	955736235
Nro. de Documento:	40793245				Correo Electrónico:	Walterreyes497@gmail.com		

Apellidos y Nombres:								
Tipo de Documento:	DNI		Pasaporte		C.E.		Nro. de Celular:	
Nro. de Documento:					Correo Electrónico:			

Apellidos y Nombres:								
Tipo de Documento:	DNI		Pasaporte		C.E.		Nro. de Celular:	
Nro. de Documento:					Correo Electrónico:			

### 3. Datos del Asesor: (Ingrese todos los datos requeridos completos según DNI, no es necesario indicar el Grado Académico del Asesor)

¿El Trabajo de Investigación cuenta con un Asesor?: (marque con una "X" en el recuadro del costado, según corresponda)	SI	X	NO					
Apellidos y Nombres:	VILLAVICENCIO GUARDIA, PEDRO GETULIO			ORCID ID:	0009-0007-1205-1904			
Tipo de Documento:	DNI	X	Pasaporte		C.E.		Nro. de documento:	22406521

### 4. Datos del Jurado calificador: (Ingrese solamente los Apellidos y Nombres completos según DNI, no es necesario indicar el Grado Académico del Jurado)

Presidente:	BALLARTE ZEVALLOS, CARLOS OSCAR
Secretario:	VISAG SALAS, RONAL NEY
Vocal:	MALLQUI ALVARADO, JOSE BARTOLOME
Vocal:	
Vocal:	
Accesitario	

**5. Declaración Jurada:** *(Ingrese todos los datos requeridos completos)*

a) Soy Autor (a) (es) del Trabajo de Investigación Titulado: <i>(Ingrese el título tal y como está registrado en el Acta de Sustentación)</i>
RECICLADO DE CONCRETO PARA LA FABRICACIÓN DE CEMENTO EN LA EMPRESA UNACEM PERÚ S.A.
b) El Trabajo de Investigación fue sustentado para optar el Grado Académico ó Título Profesional de: <i>(tal y como está registrado en SUNEDU)</i>
TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO INDUSTRIAL
c) El Trabajo de investigación no contiene plagio (ninguna frase completa o párrafo del documento corresponde a otro autor sin haber sido citado previamente), ni total ni parcial, para lo cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias.
d) El trabajo de investigación presentado no atenta contra derechos de terceros.
e) El trabajo de investigación no ha sido publicado, ni presentado anteriormente para obtener algún Grado Académico o Título profesional.
f) Los datos presentados en los resultados (tablas, gráficos, textos) no han sido falsificados, ni presentados sin citar la fuente.
g) Los archivos digitales que entrego contienen la versión final del documento sustentado y aprobado por el jurado.
h) Por lo expuesto, mediante la presente asumo frente a la Universidad Nacional Hermilio Valdizan (en adelante LA UNIVERSIDAD), cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido del Trabajo de Investigación, así como por los derechos de la obra y/o invención presentada. En consecuencia, me hago responsable frente a LA UNIVERSIDAD y frente a terceros de cualquier daño que pudiera ocasionar a LA UNIVERSIDAD o a terceros, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar causas en la tesis presentada, asumiendo todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse de ello. Asimismo, por la presente me comprometo a asumir además todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse para LA UNIVERSIDAD en favor de terceros con motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontraren causa en el contenido del trabajo de investigación. De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Nacional Hermilio Valdizan.



**6. Datos del Documento Digital a Publicar:** *(Ingrese todos los datos requeridos completos)*

Ingrese solo el año en el que sustentó su Trabajo de Investigación: <i>(Verifique la Información en el Acta de Sustentación)</i>				2023	
Modalidad de obtención del Grado Académico o Título Profesional: <i>(Marque con X según Ley Universitaria con la que inició sus estudios)</i>	Tesis	X	Tesis Formato Artículo		Tesis Formato Patente de Invención
	Trabajo de Investigación		Trabajo de Suficiencia Profesional		Tesis Formato Libro, revisado por Pares Externos
	Trabajo Académico		Otros <i>(especifique modalidad)</i>		
Palabras Clave: <i>(solo se requieren 3 palabras)</i>	RECICLADO		FABRICACIÓN		CEMENTO
Tipo de Acceso: <i>(Marque con X según corresponda)</i>	Acceso Abierto	X	Condición Cerrada (*)		
	Con Periodo de Embargo (*)		Fecha de Fin de Embargo:		
¿El Trabajo de Investigación, fue realizado en el marco de una Agencia Patrocinadora? <i>(ya sea por financiamientos de proyectos, esquema financiero, beca, subvención u otras; marcar con una "X" en el recuadro del costado según corresponda):</i>				SI	NO X
Información de la Agencia Patrocinadora:					

El trabajo de investigación en digital y físico tienen los mismos registros del presente documento como son: Denominación del programa Académico, Denominación del Grado Académico o Título profesional, Nombres y Apellidos del autor, Asesor y Jurado calificador tal y como figura en el Documento de Identidad, Título completo del Trabajo de Investigación y Modalidad de Obtención del Grado Académico o Título Profesional según la Ley Universitaria con la que se inició los estudios.

### 7. Autorización de Publicación Digital:

A través de la presente. Autorizo de manera gratuita a la Universidad Nacional Hermilio Valdizán a publicar la versión electrónica de este Trabajo de Investigación en su Biblioteca Virtual, Portal Web, Repositorio Institucional y Base de Datos académica, por plazo indefinido, consintiendo que con dicha autorización cualquier tercero podrá acceder a dichas páginas de manera gratuita pudiendo revisarla, imprimirla o grabarla siempre y cuando se respete la autoría y sea citada correctamente. Se autoriza cambiar el contenido de forma, más no de fondo, para propósitos de estandarización de formatos, como también establecer los metadatos correspondientes.

Firma: 		
<b>Apellidos y Nombres:</b>	REYES DORIA, WALTER	<b>Huella Digital</b>
<b>DNI:</b>	40793245	
Firma:		
<b>Apellidos y Nombres:</b>		<b>Huella Digital</b>
<b>DNI:</b>		
Firma:		
<b>Apellidos y Nombres:</b>		<b>Huella Digital</b>
<b>DNI:</b>		
<b>Fecha: 30/11/2023</b>		

### Nota:

- ✓ No modificar los textos preestablecidos, conservar la estructura del documento.
- ✓ Marque con una X en el recuadro que corresponde.
- ✓ Llenar este formato de forma digital, con tipo de letra **calibri**, **tamaño de fuente 09**, manteniendo la alineación del texto que observa en el modelo, sin errores gramaticales (*recuerde las mayúsculas también se tildan si corresponde*).
- ✓ La información que escriba en este formato debe coincidir con la información registrada en los demás archivos y/o formatos que presente, tales como: DNI, Acta de Sustentación, Trabajo de Investigación (PDF) y Declaración Jurada.
- ✓ Cada uno de los datos requeridos en este formato, es de carácter obligatorio según corresponda.