

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA

METALÚRGICA



T E S I S

**Optimización de la temperatura de calcinación para determinar las
propiedades físicas y mecánicas del yacimiento de yeso del centro poblado**

menor de Rocco 2023

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Metalurgista

Autor:

Bach. Paolo Diego HUAMAN ESPINOZA

Asesor:

Dr. Rubén Edgar PALOMINO ISIDRO

Cerro de Pasco – Perú - 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA
METALÚRGICA



T E S I S

**Optimización de la temperatura de calcinación para determinar las
propiedades físicas y mecánicas del yacimiento de yeso del centro poblado
menor de Rocco 2023**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Dr. Hildebrando Aníbal CONDOR GARCÍA
PRESIDENTE

Dr. Luis Villar REQUIS CARBAJAL
MIEMBRO

Mg. Manuel Antonio HUAMÁN DE LA CRUZ
MIEMBRO



Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión

Facultad de Ingeniería

Unidad de Investigación

INFORME DE ORIGINALIDAD N° 049-2024-UNDAC/UIFI

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión en mérito al artículo 23° del Reglamento General de Grados Académicos y Títulos Profesionales aprobado en Consejo Universitario del 21 de abril del 2022, La Tesis ha sido evaluado por el software antiplagio Turnitin Similarity, que a continuación se detalla:

TESIS:

Optimización de la temperatura de calcinación para determinar las propiedades físicas y mecánicas del yacimiento de yeso del centro poblado menor de Rocco 2023

Apellidos y nombres de los tesistas:

Bach. HUAMAN ESPINOZA, Paolo Diego

Apellidos y nombres del Asesor:

Dr. PALOMINO ISIDRO, Rubén Edgar

Escuela de Formación Profesional

Ingeniería Metalúrgica

Índice de Similitud

24%

APROBADO

Se informa al decanato para los fines pertinentes:

Cerro de Pasco, 9 de febrero del 2024


Luis Villa Reguis Carbajal
DOCTOR EN CIENCIAS - DIRECTOR

DEDICATORIA

Con mucho cariño y aprecio a mis queridos padres por su apoyo para verme realizado como profesional.

AGRADECIMIENTO

En primera instancia expreso mi gratitud y agradecimiento a Dios por haberme dotado de inteligencia, sabiduría y voluntad para culminar con éxito mi propósito planteado durante el proceso de elaboración de mi tesis.

Agradezco a mis queridos padres y hermanos; porque ellos son los principales forjadores, motivos y artífices para mi superación personal sin el apoyo de ellos no hubiera hecho realidad mis sueños.

De igual forma, agradezco a la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión de Cerro de Pasco, por haberme permitido realizar en los ambientes de su laboratorio tanto de metalurgia e ingeniería civil con el apoyo de sus responsables la parte experimental de mi trabajo de investigación.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como finalidad, haciendo uso de la materia prima obtenida del yacimiento del centro poblado menor de Rocco, jurisdicción de la provincia Daniel A. Carrión, distrito de Yanahuanca, departamento de Pasco; determinar si este material tiene un valor económico para aprovechar en beneficio de la población.

El propósito es demostrar si la variación de temperatura de calcinación entre 120, 150 y 200°C tenía alguna influencia en el producto calcinado en sus propiedades físico-mecánicas, así como el tiempo de fraguado y el porcentaje de absorción de agua en los productos obtenidos, cumpliendo estrictamente con la norma española UNE-EN 13279-2 y la Norma Técnica Peruana (NTP) para yesos de construcción y conglomerantes.

Para realizar el presente estudio; en primer lugar, se solicitó el permiso de las autoridades correspondientes del mencionado centro poblado para realizar un reconocimiento, exploración y extracción de muestra.

Toda la parte experimental se realizó en el laboratorio de metalurgia de la Universidad Daniel Alcides Carrión, la muestra obtenida pasó al proceso de chancado o trituración, se realizó manualmente hasta obtener un tamaño promedio de 1 pulgada (2.54 cm), se cuarteó, la muestra representativa, pasó luego a calcinación a las temperaturas indicadas en un horno eléctrico, este material calcinado se denomina yeso; en seguida pasó a molienda hasta obtener 80% de malla -50.

Con el material 80% malla -50 de cada temperatura de calcinación se procedió en primer lugar a determinar la relación agua yeso (A/Y) para cada temperatura de calcinación; obtenida la relación A/Y se procedió hacer todos los ensayos para determinar las propiedades físico-mecánicas en los diferentes tipos de yeso.

Para realizar los ensayos se seleccionó 9 probetas prismáticas con yeso calcinado a 150°C para determinar la resistencia a flexión; las probetas resultantes de este ensayo se utilizaron en la resistencia a compresión axial simple; asimismo, se seleccionó 9 probetas con yeso calcinado a 200°C para resistencia a flexión y los resultantes de ésta se utilizaron en la resistencia a compresión; por otro lado, se sacó 2 kg de yeso pasante malla -50 de cada temperatura para prueba de tiempo de fraguado, todos bajo la norma UNE-EN 13279-2 y 8 probetas preparadas para cada temperatura para la prueba de absorción con la NTP.

El yeso calcinado a 120°C no resultó favorable a las expectativas propuestas, es decir, no cumplió con la prueba de fraguado; por tanto, se descartó este material.

Al término de esta investigación se demostró que, las propiedades físico-mecánicas del yeso afecta significativamente con la variación de temperatura de calcinación.

Palabras Claves: Temperatura de calcinación, propiedades físicas y mecánicas, yacimiento de yeso

ABSTRACT

The purpose of this research work was to make use of the raw material obtained from the deposit of the minor population center of Rocco, jurisdiction of the Daniel A. Carrión province, Yanahuanca district, department of Pasco; determine if this material has an economic value to take advantage of for the benefit of the population.

The purpose is to demonstrate whether the calcination temperature variation between 120, 150 and 200 ° C had any influence on the calcined product in its physicalmechanical properties, as well as the setting time and the percentage of water absorption in the products obtained, strictly complying with the Spanish standard UNE-EN 132792 and the Peruvian Technical Standard (NTP) for construction plasters and binders.

To conduct the present study; In the first place, permission was requested from the corresponding authorities of the aforementioned population center to carry out a reconnaissance, exploration and sample extraction. All the experimental part was carried out in the metallurgy laboratory of the Daniel Alcides Carrión University, the sample obtained went to the crushing or crushing process, it was carried out manually until obtaining an average size of 1 inch (2.54 cm), it was cracked, the representative sample, then went to calcination at the temperatures indicated in an electric furnace, This calcined material is called gypsum; Then it went to grinding until obtaining 80% mesh -50.

With the material 80% mesh -50 of each calcination temperature we first proceeded to determine the gypsum water ratio (A / Y) for each calcination temperature; obtained the ratio A / Y proceeded to do all the tests to determine the physicalmechanical properties in the different types of gypsum.

To carry out the tests, 9 prismatic specimens with calcined plaster at 150 ° C were selected to determine the flexural strength; The specimens resulting from this test were

used in the simple axial compressive strength; likewise, 9 specimens with calcined plaster at 200 ° C were selected for flexural strength and those resulting from this were used in the compressive strength; on the other hand, 2 kg of gypsum through mesh -50 of each temperature was taken for setting time test, all under the UNE-EN 13279-2 standard and 8 specimens prepared for each temperature for the absorption test with the NTP. The plaster calcined at 120 ° C was not favorable to the proposed expectations, that is, it did not meet the setting test; therefore, this material was discarded. At the end of this research it was shown that the physical-mechanical properties of gypsum significantly affects the variation of calcination temperature.

Keywords: Calcination temperature, physical and mechanical properties, gypsum deposit

INTRODUCCIÓN

El yeso es un material natural de gran disponibilidad en el mundo, utilizado desde hace cientos de años hasta la actualidad, cuyo proceso industrial es sencillo, menos contaminante y de menor coste en su fabricación la que justifica su estudio.

Esta investigación se propone evaluar, demostrar y recomendar a la comunidad del centro poblado menor de Rocco, jurisdicción del distrito de Yanahuanca, Provincia Daniel A. Carrión, Departamento de Pasco; la calidad del yacimiento de sulfato de calcio di hidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$) que en estado natural se le conoce como **aljez**, materia prima para producir el yeso mediante calcinación, a este material se evaluó sus propiedades físico-mecánicas, tiempo de fraguado y porcentaje de absorción de agua a través de diferentes ensayos para recomendar su posterior industrialización; además, hallar la temperatura óptima de calcinación y el tiempo de permanencia en el horno, este último, dato importante que no aparece en ninguna información bibliográfica consultada.

Para realizar los diferentes ensayos como resistencia a flexión, compresión axial simple de las probetas elaboradas con yesos calcinados a 120, 150 y 200°C, así como, tiempo de fraguado se ha tomado en cuenta la norma europea (España) UNE-EN 123279: 2006, para yesos de construcción a falta de una norma nacional, y para determinar el porcentaje de absorción de agua que ayuda a conservar el medio ambiente del hogar se tomó en cuenta la Norma Técnica Peruana (NTP) 339.051:2016 sobre materiales de yeso. Asimismo, según los resultados obtenidos en el proceso experimental y habiendo pasado todas las pruebas que recomienda las normas mencionadas, considero, que este material reúne todas las condiciones para industrializar.

Considero que no es una obra terminada ni menos pretendo presentar como un trabajo de profunda investigación científica, simplemente es el comienzo de un trabajo más amplio en el futuro; pongo a disposición al que se interese en este campo, los conocimientos básicos para la fabricación del yeso e insertar en el proceso industrial.

No debo dar por concluido, no sin antes de hacerles llegar mis sinceros reconocimientos a todos aquellos que de una u otra manera han contribuido y apoyado desinteresadamente para la conclusión de la investigación, disculpándome de antemano por algunos errores y deficiencias que pudiera haber cometido durante su desarrollo, evidentemente con la promesa de mejorarlo en el futuro.

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

ÍNDICE

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema.....	1
1.1.1. Identificación del problema.....	1
1.1.2. Planteamiento del problema	3
1.2. Delimitación de la investigación.....	3
1.2.1. Delimitación espacial	4
1.2.2. Delimitación temporal.....	5
1.3. Formulación del problema	5
1.3.1. Problema general	6
1.3.2. Problemas específicos	6
1.4. Formulación de objetivos.....	6
1.4.1. Objetivo general	6
1.4.2. Objetivos específicos.....	7
1.5. Justificación de la investigación	7
1.5.1. Justificación técnica.....	7
1.5.2. Justificación social.....	8
1.5.3. Justificación por viabilidad.....	9
1.5.4. Justificación por relevancia	10
1.6. Limitaciones de la investigación.....	11

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio	12
2.1.1. Antecedentes a nivel nacional	13
2.1.2. Antecedentes a nivel internacional	14
2.2. Bases teóricas científicas	15
2.2.1. Yeso	15
2.2.2. Evolución histórica de la producción del yeso	16
2.2.3. Proceso de fabricación.....	25
2.2.4. Hidratación (fraguado de yeso)	29
2.2.5. Relación agua yeso en el amasado	30
2.2.6. Métodos de ensayos para yesos de construcción.....	31
2.2.7. Determinación de las propiedades mecánicas	35
2.2.8. Aplicaciones del yeso	40
2.3. Definición de términos básicos	43
2.4. Formulación de hipótesis	45
2.4.1. Hipótesis general	45
2.4.2. Hipótesis específicas	45
2.5. Identificación de variables	45
2.5.1. Variables independientes.....	45
2.5.2. Variables dependientes.....	46
2.6. Definición operacional de variables e indicadores	47

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de Investigación.....	48
3.2. Nivel de investigación.....	50
3.3. Métodos de investigación.....	50

3.4.	Diseño de investigación	50
3.4.1.	Diseño experimental.....	51
3.4.2.	Diseño de Ingeniería.....	51
3.5.	Población y muestra	61
3.5.1.	Población	61
3.5.2.	Muestra.....	61
3.6.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	63
3.6.1.	Técnicas	63
3.6.2.	Instrumentos de recolección de datos.....	64
3.6.3.	Instrumentos de ingeniería	72
3.7.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos	75
3.7.1.	Ensayo de resistencia a flexión.....	75
3.7.2.	Ensayo de resistencia a compresión	79
3.7.3.	Determinación de los tiempos de fraguado (método del cuchillo).....	83
3.7.4.	Periodo inicial de absorción	87
3.8.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos	97
3.9.	Tratamiento estadístico	97
3.9.1.	Resistencia a flexión.....	97
3.9.2.	Resistencia a compresión	102
3.9.3.	Determinación de los tiempos de fraguado (método del cuchillo).....	109
3.9.4.	Determinación del periodo inicial de absorción.....	114

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.	Descripción del trabajo de campo	120
4.2.	Presentación, análisis e interpretación de resultado.....	120
4.2.1.	Resultados de la resistencia a flexión.....	120
4.2.2.	Resultado de la resistencia a compresión axial simple.....	121

4.2.3. Resultado de los tiempos de fraguado	121
4.2.4. Resultado del período inicial de absorción.....	122
4.3. Prueba de hipótesis.....	123
4.4. Discusión de resultados.....	125
CONCLUSIONES	
RECOMENDACIONES	
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Coordenadas UTM del yacimiento de yeso - Rocco.....	5
Tabla 2: Composición química del yeso	16
Tabla 3: Temperatura de deshidratación del yeso	28
Tabla 4: Definición operacional de variables e indicadores – yeso centro poblado menor de Rocco	47
Tabla 5: Resultados de calcinación de aljez.....	54
Tabla 6: Muestra de probetas para ensayos físico-mecánicas.....	63
Tabla 7: Ficha para ensayo de resistencia a flexión.....	64
Tabla 8: Ficha para ensayo de resistencia a compresión axial simple	65
Tabla 9: Ficha para determinación de tiempos de fraguado.....	66
Tabla 10: Ficha para determinar periodo inicial de absorción	66
Tabla 11: Instrumento de cálculo de la resistencia a flexión	67
Tabla 12: Instrumento de cálculo de la resistencia a flexión	68
Tabla 13: Instrumento de cálculo de la resistencia a compresión axial simple.....	68
Tabla 14: Instrumento de cálculo de la resistencia a compresión axial simple.....	69
Tabla 15: Instrumento de cálculo de los tiempos de fraguado (método del cuchillo) .	70
Tabla 16: Instrumento de cálculo de los tiempos de fraguado (método del cuchillo) .	70
Tabla 17: Instrumento de cálculo del ensayo periodo inicial de absorción	71
Tabla 18: Instrumento de cálculo del ensayo periodo inicial de absorción	71
Tabla 19: Toma de datos en ensayo de resistencia a flexión para 150 °C	78
Tabla 20: Toma de datos en ensayo de resistencia a flexión para 200 °C	78
Tabla 21: Toma de datos del ensayo de resistencia compresión axial simple (150°C)	82
Tabla 22: Toma de datos del ensayo de resistencia compresión axial simple (200°C)	82
Tabla 23: Toma de datos del ensayo de tiempo de fraguado (150°C)	87

Tabla 24: Toma de datos del ensayo de tiempo de fraguado (200°C)	87
Tabla 25: Datos para la curva tiempo vs absorción	94
Tabla 26: Toma de datos para ensayo de absorción 150 °C	96
Tabla 27: Toma de datos para ensayo de absorción 200 °C	96
Tabla 28: Selección de datos con desviación estándar para resistencia a flexión, yeso calcinado a 150°C.....	98
Tabla 29: Cálculo de resistencia a flexión, yeso calcinado a 150°C con datos aprobados	99
Tabla 30: Variación de resistencia a flexión de yeso calcinado a 150°C.....	100
Tabla 31: Cálculo de resistencia a flexión de yeso calcinado a 200 °C con datos aprobados.....	101
Tabla 32: Selección de datos con desviación estándar para resistencia a compresión axial simple, yeso calcinado a 150°C	103
Tabla 33: Cálculo de resistencia a compresión, calcinado a 150 °C con datos aprobados	104
Tabla 34: Selección de datos con desviación estándar para resistencia a compresión de yeso calcinado a 200°C	106
Tabla 35: Cálculo de resistencia a compresión, calcinado a 200 °C con datos aprobados	107
Tabla 36: Datos del tiempo de fraguado para yeso calcinado a 150°C.....	109
Tabla 37: Selección de resultados tiempo de fraguado de yeso calcinado a 150°C ..	110
Tabla 38: Datos tiempo de fraguado yeso calcinado a 150 °C	110
Tabla 39: Datos del tiempo de fraguado para yeso calcinado a 200°C.....	112
Tabla 40: Selección de resultados del yeso calcinado a 200°C	112
Tabla 41: Datos tiempo de fraguado yeso calcinado a 200 °C	112

Tabla 42: Datos del tiempo inicial de absorción para yeso calcinado a 150°C	115
Tabla 43: Selección de resultados del yeso calcinado a 150°C	115
Tabla 44: Datos tiempo inicial de absorción yeso calcinado a 150 °C	116
Tabla 45: Datos del tiempo inicial de absorción para yeso calcinado a 200°C	117
Tabla 46: Selección de resultados obtenidos del yeso calcinado a 200°C	118
Tabla 47: Datos tiempo inicial de absorción yeso calcinado a 200 °C	118
Tabla 48: Resultado de calcinación y tiempo de fraguado.....	126

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Yacimiento de yeso - Rocco.....	5
Figura 2: Horno artesanal listo para calcinar	17
Figura 3: Estibado de la bóveda.....	18
Figura 4: Cerrando la cúpula de la carga	18
Figura 5: Encendido del horno.....	19
Figura 6: Proceso de deshidratación	19
Figura 7: Calcinación de aljez con leña	20
Figura 8: Tamizado de yeso para estuco.....	20
Figura 9: Envasado para su comercialización.....	21
Figura 10: Chancadora de quijada	22
Figura 11: Extracción de piedra aljez mecanizada.....	23
Figura 12: Horno industrial para calcinar yeso.....	23
Figura 13: Molino y filtro industrial para minerales.....	23
Figura 14: Almacenamiento del producto final	24
Figura 15: Diagrama de flujo de la producción de yeso	26
Figura 16: Dimensiones de la probeta.....	32
Figura 17: Molde para preparar probetas según Norma UNE-EN 13279 -2, 2006	33
Figura 18: Preparación de probeta	34
Figura 19: Fraguado de probeta	35
Figura 20: Posición de la probeta para ensayo a flexión.....	35
Figura 21: Exploración del yacimiento.....	52
Figura 22: Sacando muestra del yacimiento	52
Figura 23: Muestra del mineral - aljez	53
Figura 24: Trituración manual del material	53

Figura 25: Material triturado para el cuarteo	54
Figura 26: Estibando el material triturado al horno eléctrico para calcinar.....	55
Figura 27: Molienda de material calcinado.....	55
Figura 28: Vaso de precipitado	56
Figura 29: Balanza de precisión.....	57
Figura 30: Cronómetro para medir el tiempo de fraguado.....	57
Figura 31: Pesado de agua 100 g	58
Figura 32: Espátula	58
Figura 33: Molde para preparar probetas según norma	59
Figura 34: Balanza de precisión.....	59
Figura 35: Vaso de precipitado	59
Figura 36: Preparando probeta.....	60
Figura 37: Desmoldando la probeta	60
Figura 38: Secado de la muestra seleccionada.....	62
Figura 39: Diagrama de flujo del experimento	62
Figura 40: Equipo para ensayo de resistencia a flexión con pistón de	72
Figura 41: Equipo para ensayos de resistencia a compresión axial	73
Figura 42: Equipo para calcinación de aljez	73
Figura 43: Equipo para desecado de materiales a temperatura constante.....	73
Figura 44: Instrumento que sirve para realizar mediciones de precisión.....	74
Figura 45: Placa de vidrio de 40cm de largo y 40cm de ancho	74
Figura 46: Instrumento para mezclado homogéneo de materiales.....	74
Figura 47: Instrumento para pesar con precisión de 0.1gr.....	75
Figura 48: Vernier para efectuar mediciones de las probetas	75
Figura 49: Equipo para ensayo de resistencia a flexión.....	76

Figura 50: Probetas codificadas para el ensayo a flexión	76
Figura 51: Probeta sobre los rodillos para ensayo a flexión	77
Figura 52: Muestra de las probetas rotas luego del ensayo a flexión	77
Figura 53: Equipo Pinzuar para determinar resistencia a compresión.....	79
Figura 54: Vernier para efectuar mediciones de probetas.....	79
Figura 55: Probetas rotas para la resistencia a compresión axial simple	80
Figura 56: Probeta en el interior de la máquina de compresión.....	81
Figura 57: Resultado de la resistencia a la compresión de la muestra 3-2-a	81
Figura 58: Placa de vidrio para preparar las galletas	83
Figura 59: Recipientes para amasado.....	84
Figura 60: Cronómetro para controlar tiempo de fraguado	84
Figura 61: Balanza de precisión.....	84
Figura 62: Espátula para los cortes en la galleta	85
Figura 63: Pesando agua y yeso para el ensayo del tiempo de fraguado	86
Figura 64: Preparando la mezcla agua yeso para el tiempo de fraguado	86
Figura 65: Cortes hechas con la espátula a las galletas.....	86
Figura 66: Recipiente para inmersión	88
Figura 67: Horno mufla para secado de probetas a 40 °C	88
Figura 68: Recipientes para amasado.....	88
Figura 69: Balanza de precisión.....	89
Figura 70: Cronómetro para controlar tiempo de inmersión.....	89
Figura 71: Nivel de mano para nivelar la bandeja con agua	89
Figura 72: Probeta saturada de agua	90
Figura 73: Pesado de probetas para prueba de absorción	90
Figura 74: Probetas seleccionadas para ensayo de absorción	91

Figura 75: Probetas sumergidas en las bandejas con agua.....	91
Figura 76: Vertiendo agua a la bandeja para la inmersión de 2 probetas	92
Figura 77: Nivelando la bandeja para llenar con agua.....	92
Figura 78: Dos probetas sumergidas, 2-10 y 3-10	92
Figura 79: Anotando peso de las probetas después del pesado.....	93
Figura 80: Secado de probetas para pesar después de cada 10 segundos	93
Figura 81: Curva para temperatura de 150°C	95
Figura 82: Curva para temperatura de 200°C	95
Figura 83: Variación de resistencia a flexión de yeso calcinado a 150°C	99
Figura 84: Variación de resistencia a flexión del yeso calcinado a 200°C por unidad de muestreo	101
Figura 85: Variación de la resistencia a compresión del yeso 150°C por unidad de muestreo	105
Figura 86: Variación de la resistencia a compresión del yeso 200°C por unidad de muestreo	108
Figura 87: Variación tiempo de fraguado del yeso calcinado a 150°C por unidad de muestreo	110
Figura 88: Variación tiempo de fraguado del yeso calcinado a 200°C por unidad de muestreo	113
Figura 89: Agua absorbida de probetas con yeso calcinado a 150°C	116
Figura 90: Agua absorbida de probetas con yeso calcinado a 200°C	119
Figura 91: Resultados de la resistencia a flexión.....	120
Figura 92: Resultados de la resistencia a compresión axial simple 27	121
Figura 93: Resultados de los tiempos de fraguado	122
Figura 94: Resultados del periodo inicial de absorción	122

Figura 95: Gráfica de caja T° Calc. 150°; T Calc. 200°	124
Figura 96: Gráfica de distribución	125

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema

1.1.1. Identificación del problema

Los objetivos del Grupo Banco Mundial son luchar y poner fin a la pobreza extrema. Esta misión está orientado a realizar diferentes estudios analíticos, operaciones y actividades en aproximadamente 140 países clientes. (Grupo Banco Mundial, 2022, párrafo primero).

Las últimas investigaciones realizadas sugieren que, con toda seguridad, los efectos de estas crisis se sentirán en la mayoría de estos países hasta 2030 teniendo como meta reducir la pobreza hasta por lo menos del 3 %, que se tenía proyectado hasta antes de la pandemia, actualmente meta inalcanzable salvo que, los países tomen medidas de política importantes y significativas. Las principales causas de la pobreza en el mundo son: los conflictos bélicos, la violencia, el cambio climático, por falta de asistencia médica oportuna, así como el descuido de la educación, entre otras. (Grupo Banco Mundial, 2022, párrafo séptimo),
Última actualización: Abr 26, 2022.

Según Merino, A. (2019), América Latina es una de las regiones con mayor desigualdad del mundo, por lo que la pobreza es más acentuada en esta región. Mientras que en otros países una parte muy amplia de la población vive en un nivel de pobreza baja, y en otros está casi erradicada, (Elordenmundial.com, 2019, párrafo primero).

En nuestro país la pobreza se mide a través del indicador de gasto, porque esta variable se aproxima a los niveles de vida de las personas y por la compra que realizan los hogares para su consumo. En el año 2021, el gasto real promedio mensual fue 753 soles, por persona, 6,1% más comparado con el gasto del año 2020, no obstante, bajo en 10,7% comparado con el año 2019. (Instituto Nacional de Estadística e informática, [INEI], 2021 párrafo cuarto).

Los departamentos del Perú con niveles de pobreza para el año 2021, fueron. Ayacucho, Cajamarca, Huancavelica, Huánuco, Loreto, Pasco y Puno con incidencias en el rango de 36,7% a 40,9%. En el segundo grupo: Amazonas, Apurímac, Junín, La Libertad, Región Lima, Lima Metropolitana, Piura y la Provincia Constitucional del Callao con 24,0% a 27,1%. (INEI, 2021, párrafo séptimo).

En el tercer grupo se encontraban: Áncash, Cusco, San Martín, Tacna, Tumbes y Ucayali con 19,0% a 22,8%. En el cuarto grupo: Arequipa, Lambayeque y Moquegua con 11,0% a 14,6%. Finalmente, en el quinto grupo, con menor incidencia de pobreza estaban: Ica y Madre de Dios con 4,5% a 9,0%. (INEI, 2021, párrafo octavo).

El centro poblado menor de Rocco no es ajeno a la crisis que se está viviendo a nivel nacional; sin embargo, esta comunidad tiene recursos naturales para explotar como el yacimiento de yeso (aljez), con un volumen probado de 3

233 373.30 m³, volumen probable de 13 408 618.80 m³, haciendo un total de 16 641 992.10 m³; suficiente material para muchas generaciones.

El estudio se centrará en el yacimiento de esta comunidad, de demostrar que este recurso natural existente es de calidad buena; entonces, con el apoyo de sus autoridades se puede aprovechar para superar en parte la pobreza; conociendo además la existencia de este material decido realizar este estudio de evaluación de este yacimiento para proponerlo su industrialización.

1.1.2. Planteamiento del problema

Según trabajos realizados por los investigadores de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, (2015) y en su publicación Minerales no metálicos en la región Pasco; hacen mención la existencia de dos grandes yacimientos de yeso (aljez), el primero en el distrito de Pillao y el segundo en el distrito de Yanahuanca, centro poblado menor de Rocco, pertenecientes a la provincial Daniel A. Carrión, departamento de Pasco. El presente estudio se centrará en el yacimiento del centro poblado menor de Rocco, de demostrar que el material existente es de calidad buena; se recomendará a la comunidad la instalación de una pequeña o micro empresa para su industrialización, generando así fuente de trabajo y desarrollo en la población. Para tal fin en el laboratorio se harán pruebas de calcinación a temperaturas de 120°C, 150°C y 200°C, respectivamente; así como, los ensayos para determinar las propiedades físicas y mecánicas del material calcinado (yeso estuco) y hallar la temperatura óptima para un producto competitivo en el mercado, regional y nacional.

1.2. Delimitación de la investigación

Según (Moreno Galindo, 2021), para Sabino (1986), para la delimitación de un estudio se toma en cuenta el tiempo y el espacio; de manera tal, que

delimitar una investigación significa, considerar en términos concretos todas las áreas de interés para dar solución a un problema; asimismo, establecer su alcance y decidir las fronteras como espacio, tiempo y circunstancias que se aplica al estudio.

De acuerdo a bibliografías consultadas para efectos de la investigación el factor más importante para saber qué tipo de yeso se obtendrá como producto final es la temperatura de calcinación, para nuestro caso se tomará como producto final sólo yeso para estuco calcinando a temperaturas de 120, 150 y 200°C para determinar la temperatura óptima de calcinación, y como producto secundario yeso para el sector agrario.

En efecto, la delimitación debe establecerse teniendo en cuenta los límites de la investigación en términos de espacio, tiempo, universo y del contenido. Según el detalle:

1.2.1. Delimitación espacial

Está referido específicamente al yacimiento de yeso (aljez) del centro poblado menor de Rocco, cuyas coordenadas UTM tomados por los investigadores de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, publicado en el libro Minerales no metálicos en la Región Pasco perteneciente al distrito de Yanahuanca, provincia Daniel A. Carrión, departamento Pasco. Ver tabla 1.

Tabla 1:
Coordenadas UTM del yacimiento de yeso - Rocco

Puntos	Este	Norte	Elevación	Des.
79	338 203 997	8 840 702 307	3 845.845	E - B
121	338 228 325	8 840 682 635	3 859.230	E - C
200	338 181 719	8 840 708 847	3 841.361	E - D
201	338 186 605	8 840 710 345	3 839.668	E - E
220	338 167 002	8 840 921 985	3 760.000	E - A

Nota: UNDAC, Minerales no metálicos en la región Pasco

Figura 1:
Yacimiento de yeso - Rocco



1.2.2. Delimitación temporal

El estudio comienza los primeros días del mes de abril del 2022 debiendo concluir en diciembre del mismo año de no haber imponderables durante el desarrollo del proyecto.

1.3. Formulación del problema

Muchos autores confunden los términos planteamiento con formulación del problema, que son diferentes. Formulación del problema es, la “reducción del

problema a términos concretos, explícitos, claros y precisos.” (Tamayo, 1993, p. 169).

Por esta afirmación, se recomienda hacer una o varias preguntas con claridad de los aspectos desconocidos para el inicio de la investigación. Además de la forma interrogativa, la formulación del problema puede adoptar también la forma declarativa.

1.3.1. Problema general

¿Cómo la temperatura de calcinación influirá en las propiedades físicas y mecánicas del yeso, elaborados con material del yacimiento de la comunidad de Rocco para obtener un determinado producto, y cuál será la temperatura óptima?

1.3.2. Problemas específicos

- a) ¿De qué manera variará la resistencia a flexión del yeso obtenido a 120, 150 y 200°C de temperatura de calcinación?
- b) ¿De qué manera variará la resistencia a la compresión axial simple del yeso obtenido a 120, 150 y 200°C de temperatura de calcinación?
- c) ¿En cuánto variará el tiempo de fraguado del yeso obtenido a 120, 150 y 200°C de temperatura de calcinación?
- d) ¿Como variará el periodo inicial de absorción (succión) del yeso obtenido a 120, 150 y 200°C de temperatura de calcinación?

1.4. Formulación de objetivos

1.4.1. Objetivo general

Hallar la temperatura óptima de calcinación para evaluar las propiedades físicas y mecánicas del yeso a 120, 150 y 200°C, respectivamente con material del yacimiento del centro poblado menor de Rocco para su aprovechamiento y

transformación en productos para su posterior uso en obras de construcción entre otros.

1.4.2. Objetivos específicos

- a) Determinar la resistencia a flexión para el yeso obtenido a 120, 150 y 200°C de temperatura de calcinación
- b) Determinar la resistencia a compresión axial simple del yeso obtenido a 120, 150 y 200°C de temperatura de calcinación.
- c) Determinar el tiempo de fraguado obtenido a 120, 150 y 200°C de temperatura de calcinación.
- d) Determinar el periodo inicial de absorción (succión) del yeso obtenido a 120, 150 y 200°C de temperatura de calcinación

1.5. Justificación de la investigación

Para (Hernández, Fernández y Baptista, 2010, p.39), no sólo se debe formular objetivos y realizar preguntas para realizar la investigación; sino, se debe justificar el estudio a través de la exposición de sus razones: el para qué y/o porqué del estudio.

En muchos casos se tiene que exponer y explicar por qué es conveniente realizar la investigación y cuáles son los beneficios que se obtendrán de ella.

Según (Baena, 2017, p.59) justificar un estudio de investigación, es respaldar y/o fundamentar una propuesta de forma convincente; considerar hasta qué grado, tanto la inversión de tiempo como de recursos se justifican de acuerdo a los intereses de la persona o de la institución que invierte en la investigación.

1.5.1. Justificación técnica

Para (Fernández, 2020, p.72), Baena, (2017) la justificación técnica trata de hallar nuevos aportes al campo de la disciplina, es decir, buscar la creación de

nuevas disciplinas, materiales, equipos, etc. que pueden ser patentables en el futuro para el beneficio del hombre.

En la misma publicación menciona que, una investigación trae consigo la oportunidad para que los beneficiarios se sientan motivados con los resultados logrados; asimismo, demostrar de qué manera beneficiarán a las personas.

Así tenemos como ejemplo en el Distrito de Huariaca las operaciones de la cantera de yeso de los hermanos Fernández cuyo proceso de producción genera fuente de trabajo, desarrollo económico directo e indirecto en la población.

1.5.2. Justificación social

Para (Fernández, 2020, p.71) en su publicación hace mención que los autores como: (Arias, 2012; Hernández, Fernández y Baptista, 2014; así como, Salinas y Cárdenas, 2009) concuerdan que toda investigación debe tener relevancia social, tener trascendencia para la sociedad. Asimismo, menciona a (Ñaupas, Mejía, Novoa y Villagómez, 2014) quienes afirman que una investigación puede ayudar a resolver problemas que afectan a una población o a un grupo social, ayudando a resolver problemas que aquejan a su comunidad; finalmente, (Tamayo y Tamayo, 1999) recomiendan que la investigación aplicada debe estar orientada para el beneficio de una población.

Con el aprovechamiento de este recurso natural se puede disminuir la pobreza que afecta a la provincia; generando fuentes de trabajo para evitar la salida de jóvenes que abandonan su lugar de origen en busca de mejores condiciones de vida en otras ciudades; asimismo, mejorar la condición económica directa e indirectamente de la población.

1.5.3. Justificación por viabilidad

El concepto de viabilidad de una propuesta de investigación, de manera general, responde a la pregunta «¿el plan de trabajo propuesto permite alcanzar los objetivos con un riesgo razonable?».

Según (Franco & Urtasun, 2018) en su publicación “Viabilidad e impacto de un estudio de investigación” afirma que, viabilidad en un estudio de investigación, se plantea la siguiente pregunta: ¿el plan de trabajo propuesto permite alcanzar los objetivos con un riesgo razonable?

Para que el estudio sea viable, en la propuesta debe estar incluida el perfil del investigador y del equipo propuesto; así como, los objetivos y la metodología del proyecto, finalmente el cronograma y el presupuesto. Para que el estudio sea viable siempre deben tenerse en cuenta los siguientes criterios:

- **Capacidad del investigador principal y su equipo.** Debe mencionar la experiencia científica, el deseo ineludible y el reto de realizar proyectos científicos en bien de la comunidad.
- **Objetivos y metodologías propuestas.** El objetivo del proyecto, debe ser nueva e innovadora, donde debe considerar un cierto nivel de riesgo y debe considerar que sea viable.
- **Plan de contingencia.** Para que la viabilidad de un estudio sea demostrable es importante considerar otras alternativas como plan B, y C si es necesario para compensar algún imprevisto.
- **Plan de trabajo.** Es importante planificar con anticipación y detalle las actividades que se debe realizar dentro del plan de trabajo, así como el cronograma de actividades.

- **Presupuesto económico.** El presupuesto debe ser bien justificado porque son claves para demostrar la viabilidad del proyecto. Las partidas presupuestarias deben ser coherentes con los objetivos propuestos. Por lo expuesto en líneas arriba, la investigación propuesta cumple con todas las exigencias descritas; además, las autoridades de la comunidad del centro poblado menor de Rocco están dispuestos a brindar todas las facilidades para realizar este estudio; los trabajos experimentales se llevarán a cabo en el laboratorio de metalurgia de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.

1.5.4. Justificación por relevancia

En su tesis de maestría, (Hidalgo, 2022) hace mención a Karl Popper, quien afirma que una investigación científica es relevante, cuando es creativa e interesante; la relevancia se debe complementar con la relevancia social. La relevancia social es cuando el estudio tiene un impacto positivo en una comunidad o sociedad el mismo que debe satisfacer sus necesidades de manera sostenible.

Para (Avila Baray 2006, p.24), en un estudio científico se debe presentar las razones por las que serán justificables; además, se debe manejar la utilidad del estudio para establecer su relevancia, para lo cual se debe dar respuesta a las siguientes preguntas:

a) ¿Cuáles serán los beneficios que se obtendrán con su realización?

La comunidad tendrá la oportunidad de fomentar la creación de pequeñas o micro empresas creando fuentes de trabajo y desarrollo.

b) ¿Por qué es necesaria la investigación?

Es necesario; porque, existiendo un recurso natural en la zona se debe aprovechar para transformar en productos utilizables en diferentes industrias a nivel regional y nacional.

c) ¿A quién o a quiénes benefician?

La explotación de este mineral beneficiará directamente a la población de la comunidad de Rocco e indirectamente a las zonas aledañas de la provincia y del departamento.

d) ¿Quién o quiénes serán los usuarios?

Los usuarios directos son los habitantes de la comunidad aledaña al yacimiento; es decir, a la población de la comunidad.

1.6. Limitaciones de la investigación

Las limitaciones de un estudio son los diversos problemas que el investigador pueda encontrar durante el desarrollo de su investigación. Según afirma (Ávila Acosta, 2001, p.87), una limitación es cuando se deja de realizar el estudio por causas ajenas al investigador.

Una limitación, es cuando no hay cooperación ni consentimiento de las autoridades de la comunidad, se opone a la realización del estudio por razones personales, políticas etc., no permite el acceso a sus dominios para una exploración, extracción de muestras, entre otros. No debemos confundirse limitaciones del investigador con limitaciones de la investigación.

Para el desarrollo de este proyecto actualmente las autoridades de la comunidad están de acuerdo con llevar adelante las pruebas en el laboratorio del material de yeso (aljez) esperando que los resultados tengan un feliz final.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

Marco teórico en una investigación científica es, revisar diferentes bibliografías, trabajos de investigación, artículos científicos, entre otros referentes al área propuesto a desarrollar para adquirir un conjunto de ideas, teorías y procedimientos que guiarán al investigador y resaltar los vacíos, así como las deficiencias del trabajo existente en este campo.

Con esta investigación busco dar la importancia que tiene el recurso natural que existe en la zona para su explotación y tratamiento en beneficio de la población creando pequeñas micro empresas generadoras de fuentes de trabajo así mejorar el nivel socio económico; esto, además, permitirá tomar decisiones para realizar otras investigaciones sobre otros usos y aplicaciones del yeso.

2.1. Antecedentes de estudio

Son trabajos realizados anteriormente con respecto a la o las variables de estudio, pueden ser investigaciones de tesis de pre grado, trabajos de postgrado, así como artículos científicos, resultados de investigaciones, ponencias, conferencias, congresos, revistas especializadas entre otros.

2.1.1. Antecedentes a nivel nacional

En su tesis de (Cueva & Huamán, 2019) con título “Análisis de la variabilidad de las propiedades mecánicas del mortero de yeso producidas en la cantera de Huarrocondo respecto a la cantera de Huacarpay según la norma UNE-EN 13279-2 CEN”.

El objetivo propuesto por los autores fue analizar y comparar las propiedades mecánicas del mortero de yeso producido en la cantera de Huarrocondo con la cantera de Huacarpay, ensayos realizados según la norma UNE-EN 13279-2-CEN Yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción.

En ensayo se basó variando las relaciones agua yeso, manteniendo constante el peso. Dichas pruebas se efectuaron con el yeso producido en la cantera de Huarrocondo de la provincia de Anta y de la cantera de Huacarpay de la provincia de Quispicanchis. Para efecto de la investigación se utilizó tres relaciones de agua yeso de: 0.6, 0.7 y 0.8, respectivamente, los mismos nos permitieron determinar las propiedades mecánicas de ambas canteras. En el ensayo se utilizaron 84 unidades de probetas prismáticas según la norma mencionada para la prueba de resistencia a flexión y otros tantos para el ensayo de resistencia a compresión. Asimismo, se utilizaron 36 unidades para el ensayo de dureza; finalmente, se utilizaron 7 kg de yeso malla -50 para determinar el tiempo de fraguado. Al final de la investigación se determinó que: el yeso producido en la cantera de Huarrocondo presenta mejores propiedades mecánicas a la resistencia a flexión y compresión, en cuanto a la relación agua yeso 0.7 resultó mejor, en la dureza la relación agua yeso de 0.6 y 0.8 son mejores y

presenta un mayor tiempo de fraguado; es decir, tiene más tiempo de trabajabilidad respecto al producido en la cantera de Huacarpay.

2.1.2. Antecedentes a nivel internacional

(Janeta, 2021) en su tesis intitulado “Utilización de poliestireno expandido como agregado de construcción en el material yeso” realizó un estudio adicionando poliestireno expandido en el material yeso para la industria de la construcción con el objetivo de mejorar las propiedades del yeso en estado puro, adicionó poliestireno reciclado de envases de comida, embalajes para mejorar las propiedades físicas y mecánicas de las placas de yeso laminado. Para demostrar esta mejora adicionó cinco mezclas con los siguientes porcentajes: 0 - 0.5, 1 – 1.5 y 2% en peso de gránulos de poliestireno expandido (EPS). Para identificar el tipo de polímero utilizado se determinó sus propiedades como densidad, resistencia a flexión, tracción y compresión. Para demostrar la mejora de este nuevo material se realizó pruebas de resistencia a flexión, deformación bajo carga, dureza superficial, densidad aparente y microscopía electrónica de barrido. Los resultados demostraron que a mayor cantidad de poliestireno expandido presenta menor densidad del producto.

Asimismo, al adicionar mayor cantidad de EPS baja la cohesión entre partículas de yeso afectando las propiedades mecánicas del material. Sin embargo, una proporción adecuada generó buenos resultados de resistencia a flexión y dureza superficial. La microscopía electrónica de barrido muestra la capacidad del material a generar nanopartículas contaminantes en el ambiente. Finalmente, en la conclusión del estudio se demostró que adicionando 0.5% mejoró las propiedades del material que otras proporciones debido a que son más compactos; es decir, presenta baja porosidad. Se recomienda continuar con el

estudio de fibras plásticas como agregados en materiales de construcción como fuente de reciclaje a largo plazo y bajar la contaminación del medio ambiente en la población.

2.2. Bases teóricas científicas

2.2.1. Yeso

Según la Asociación Técnica y Empresarial del Yeso (ATEDY, 2017) la palabra o término yeso toma dos acepciones diferentes: el primero se refiere al mineral natural existente en las canteras y el segundo, se refiere al producto procesado industrialmente obtenido a partir del yeso natural.

La misma (ATEDY) en su manual afirma que, el mineral que se encuentra en los yacimientos, es la piedra natural compuesta químicamente por sulfato de calcio cristalizado con la presencia de agua, en la proporción de dos moléculas de agua por cada molécula de sulfato cálcico, llamado también sulfato de calcio dihidratado o doble hidrato, o denominado aljez o piedra de yeso.

Por otro lado, La Subsecretaria de Minería, (2017) afirma que según (Regueiro, 1997, p.563). el yeso es un sulfato de calcio hidratado, de composición química: CaO 32.6%, SO₃ 46.5% y H₂O 20.9%, las características en estado puro es incoloro o blanco y en presencia de impurezas toma variadas coloraciones, entre las impurezas pueden estar las arcillas, óxido de hierro, sílice, caliza, entre otras; además, presenta lustre de vítreo a aperlado, sus cristales van de transparentes a translúcidos, cristaliza en el sistema monoclinico , de muy baja conductividad térmica, por lo que se usa paneles de yeso como material aislante; además, debido a su porosidad y elasticidad, este material es considerado acústico porque reduce los sonidos y ecos en las edificaciones. Cuya composición química del yeso es CaSO₄.2H₂O en estado puro es:

Tabla 2:
Composición química del yeso

Composición	Porcentaje
CaO	32.6
SO₃	46.5
H₂O	20.9

Nota: Geologíaweb

2.2.2. Evolución histórica de la producción del yeso

Según (Villanueva, 2004, p.5) el hombre empieza producir el yeso de manera artesanal, pasando posteriormente a la producción industrial de materiales y sistemas de construcción. Actualmente, con el avance de la tecnología se va modificando el proceso de producción pasando a un nuevo período denominado posindustrial. Es decir, la producción del yeso ha pasado por tres etapas históricas, que corresponden con revoluciones tecnológicas en la sociedad: la etapa artesanal, la etapa industrial y la etapa postindustrial.

A) *Yeso artesanal.* Los yesos artesanales se fabrican hasta la fecha en algunos lugares cerca de la zona de producción en hornos tradicionales hechos de rocas calcáreas, y en muchas ocasiones son fabricados por los usuarios para consumo propio; se caracteriza por una producción discontinua o campaña. Como combustible usan leña de diferentes árboles que abundan en la zona donde se encuentra instalado el horno y cerca al yacimiento de preferencia. La elaboración del yeso artesanal comprende por un lado la extracción de la materia prima de las canteras, y otro, la etapa de calcinación, estas dos etapas se realizan por separado.

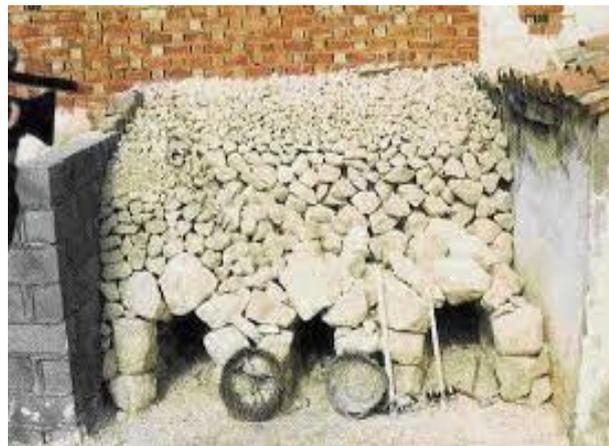
Tradicionalmente producen tres tipos de yeso: **a) Las piedras más negras;** es decir, las sobrecosidas se separan, se trituran para dar lugar al yeso

hidráulico o de pavimento, **b)** Las piedras que presentan mejor aspecto, se separan y se muelen finamente, dando lugar al denominado yeso blanco, para ser utilizados en enlucidos o blanqueos, y **c)** Las piedras que quedan con las escorias y subproductos de la combustión se recogen y trituran juntos, llamando yeso negro o moreno, las que se usan para guarnecidos y como conglomerante de albañilería.

Con el correr el tiempo los hornos se fueron mejorando para facilitar las operaciones de carga, calcinación, descarga y molienda, también se instalaron silos para el almacenamiento final del producto y homogeneizarlo dando lugar a la transformación final de algunas fases.

Figura 2:

Horno artesanal listo para calcinar



Nota: <http://www.yesoalbarracin.com/proceso-artesanalde-fabricacion.html>

Figura 3:
Estibado de la bóveda



Figura 4:
Cerrando la cúpula de la carga



Nota: Empresa Salguero Yemaconsa S.L. Sevilla – España

Figura 5:
Encendido del horno



Nota: Empresa Salguero Yemaconsa S.L. Sevilla – España

Figura 6:
Proceso de deshidratación



Nota: Empresa Salguero Yemaconsa S.L. Sevilla – España

Figura 7:

Calcinación de aljez con leña



Nota Empresa Salguero Yemaconsa S.L. Sevilla – España

Figura 8:

Tamizado de yeso para estuco



Nota: Empresa Salguero Yemaconsa S.L. Sevilla – España

Figura 9:

Envasado para su comercialización



Nota: Fábrica de yeso San Miguel

B) Yeso industrial. Según (Villanueva, 2004, p.8) recién a partir del siglo XVIII se lleva a cabo el estudio científicamente del yeso. En 1768, **Lavoisier** presenta en la Academia de Ciencias el primer estudio científico de los fenómenos que ocurre en la preparación del yeso. Posteriormente Van t'Hoff y Le Chatelier explican científicamente la deshidratación; luego, se lleva a cabo una serie de investigaciones sobre este material.

El proceso de industrialización recién comienza con estas investigaciones, que afecta a los materiales y a la industria de la construcción, se controla la temperatura de calcinación en el proceso de fabricación para obtener un producto deseado.

En la fase de calcinación los ingenieros, técnicos y personal con mucha experiencia en el campo se ingeniaron para alcanzar la mejor deshidratación

bajando los costos de producción con estricto control de la temperatura de calcinación con el uso de instrumentos automáticos como pirómetros digitales y termocuplas. Existen hornos de sistemas con carga continua y otros con carga discontinua; de fuego directo y de fuego indirecto. Los de fuego indirecto son para obtener escayola y los hornos rotativos de fuego directo para producir yeso.

Asimismo, en la etapa previa a la calcinación se mecanizaron los sistemas de extracción, la trituración, para conseguir tamaños menores que facilitan la calcinación; se instalaron silos de reposo del material calcinado para completar el proceso y hacer más homogéneo el producto. En algunos casos se adicionan aditivos para retardar los tiempos de fraguado.

Figura 10:
Chancadora de quijada



Nota: Cantera Atocongo y Pucará, Amazonas

Figura 11:
Extracción de piedra aljez mecanizada



Nota: https://es.made-in-china.com/tag_search_product/Gypsum-Production-

Figura 12:
Horno industrial para calcinar yeso



Nota: Hornos Hinrasac

Figura 13:
Molino y filtro industrial para minerales



Nota: <http://www.shibangperu.com/>

Figura 14:

Almacenamiento del producto final



Nota: <http://www.shibangperu.com/>

C) **Yeso post industrial.** El mismo autor hace referencia que a partir de la II Guerra Mundial, se continúa con estudios más avanzados sobre las modificaciones producidas en las características del yeso adicionando aditivos retardadores para mejorar el tiempo de fraguado. Con el resultado de estas investigaciones se han demostrado en la producción que un yeso lento, es más apreciado por los usuarios en los revestimientos. La adición de aditivos produce también un aumento de la resistencia superficial; es decir, un yeso de alta dureza. (García, 1988, p. 94) afirma que los aditivos retardadores prolongan el tiempo de fraguado, elevan la dureza y resistencia, con cierta disminución de la cantidad de agua de amasado.

(García, 1988, p. 94) hace mención en su tesis que: F. Graf, F. Rausch y F.C. Velch, clasifica a los aditivos retardadores en:

- a) Sustancias que disminuyen la solubilidad del yeso, entre ellos se tiene: la glicerina, alcohol, acetona, éter, azúcar, ácidos acético, bórico, cítrico, fosfórico, entre otros.

- b) Compuestos orgánicos que actúan como coloides protectores, como: queratina, caseína, cola, albúmina, goma arábiga, gelatina, proteínas, etc. y
- c) Sustancias que influyen en la estructura cristalográfica, como: acetato cálcico, carbonato cálcico y carbonato magnésico.

2.2.3. Proceso de fabricación

(Yesos Especializados de México S.A. de C.V., 2009) en su publicación con el título de Proceso de Fabricación del Yeso coincide con (Guillen, 2005, p.67) en su tesis doctoral al describir el proceso industrial de fabricación del yeso en:

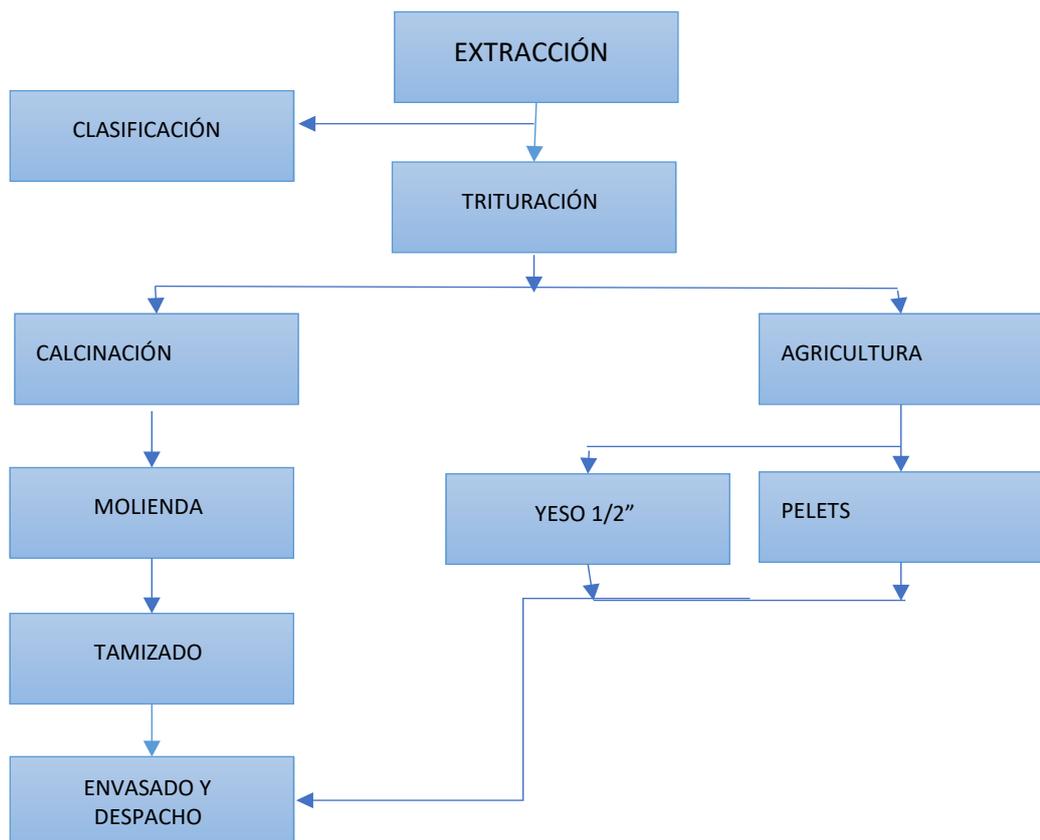
- a) **Extracción.** El yeso (aljez) se extrae de las minas o canteras mediante perforación, voladuras controladas con barrenos y perforadoras de aire comprimido y transporte esta operación se realiza durante la jornada de trabajo diario; en algunas empresas se extraen por medios mecánicos, excavadores con variedad de tamaños.

El material que se extrae de las canteras se traslada mediante camiones hacia la cancha de almacenamiento de la planta, y a través de fajas transportadoras se depositan en la tolva de gruesos para ser alimentados a la chancadora primaria para la trituración.

- b) **Clasificación de la materia prima.** Se hace una minuciosa selección del material extraído de forma manual, eliminando los contaminantes o estériles existente, los mismos que son **depositados** en el mismo lugar de la cantera llamada canchas de gruesos para ser trasladados y procesados en la siguiente etapa de trituración.

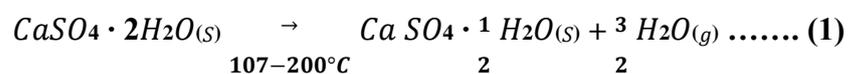
c) **Trituración.** La trituración tiene por objeto reducir el mineral extraído de la cantera, hasta obtener un producto más fino, para su posterior transporte y procesado. Según la capacidad de producción se utilizan en la primera trituración chancadoras primarias de mandíbulas para reducir el tamaño a una dimensión inferior a 15 cm, la segunda trituración permite reducir el tamaño entre 4 a 5 cm de diámetro promedio; el producto triturado se transporta en bandas o cintas transportadoras para la siguiente etapa de calcinación.

Figura 15:
Diagrama de flujo de la producción de yeso



d) **Calcinación:** La calcinación es el proceso de deshidratación del yeso, el material producto de la trituración es alimentado a los hornos de calcinación, inicialmente se levanta la temperatura con un riguroso control de tiempo a la zona de precalentamiento para eliminar el agua de cristalización del yeso, en seguida pasa a la zona de calcinación finalmente a la zona de enfriamiento; este proceso se aplica en hornos rotatorios cuando la producción es continua; en el caso de hornos estacionarios se realiza el estibado y desestibado manualmente, las propiedades del producto final dependen directamente de las condiciones y temperaturas de calcinación empleada.

(Pinto, 2017) en su publicación semana 4, menciona sobre proceso de deshidratación térmica e hidratación, que el yeso para construcción se fabrica calcinando el material de yeso (aljez) a temperaturas entre 107 – 120°C, a este material se puede calcinar hasta llegar entre 900 – 1000°C. Durante la calcinación se va perdiendo lentamente parte del agua, a partir de 107°C se va desprendiendo el agua de cristalización dando lugar al semi hidrato o hemi hidrato, continuando el calentamiento sobre los 800°C el yeso pierde toda el agua quedando anhidrita, comienza a descomponerse en SO₃ (gas que emana a la atmósfera), la reacción química es el siguiente: El yeso es un material de construcción que al calentar pierde rápidamente su agua de cristalización produciendo así el yeso calcinado deshidratado parcial o totalmente; al agregar agua recupera su estructura cristalina; es decir, se hidrata, fraguando y endureciéndose posteriormente. La reacción química al deshidratarse es:



Superados los 107°C, el yeso empieza a deshidratarse formándose el sulfato de calcio hemi hidrato; es decir, el llamado “yeso cocido”. A medida que se incrementa la temperatura se forma varios tipos del material con características bien diferenciadas.

Si se aumenta la temperatura hasta lograr el desprendimiento total de agua, se obtienen productos para otros procesos empleados en construcción, los que de acuerdo con las temperaturas crecientes de deshidratación pueden ser, ver Tabla 3.

Tabla 3:
Temperatura de deshidratación del yeso

Temperaturas	Características obtenidas
Temp. ordinaria	Piedra de yeso (aljez). Sulfato de calcio bihidrato: $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.
107 °C	Formación de sulfato de calcio hemihidrato: $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$
107-200 °C	Desecación del hemihidrato, con fraguado más rápido que el anterior. Es el producto comercial utilizado para producir para estuco.
200-300 °C	Yeso con ligero residuo de agua. fraguado lentísimo y de gran resistencia.
300-400 °C	Yeso de fraguado aparentemente rápido, pero de muy baja resistencia
500-700 °C	Yeso Anhidro o extra cocido, de fraguado lentísimo o nulo: yeso muerto. Útil solo por sus propiedades químicas.
750-800 °C	A partir de aquí empieza a formarse el yeso hidráulico.
800-1000 °C	Hidráulico tipo normal, o de pavimento.
1000-1400 °C	Yeso hidráulico con mayor proporción de cal libre, cuyo fraguado es más rápido

Nota: e-Construir.com/yeso/fabricación.html

- e) **Molienda:** El producto calcinado pasa directamente a las tolvas de fino donde se dosifican la cantidad de material para ser alimentados a través de

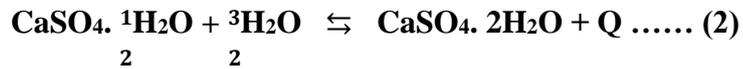
fajas a los molinos. La calcinación y la molienda se debe efectuar simultáneamente para evitar la absorción de humedad del medio ambiente por ser el yeso bastante higroscópico. En seguida son envasados para su comercialización; la proporción y distribución de los tamaños de partículas son factores determinantes con respecto a las propiedades del producto. Posteriormente el yeso, puede ser mezclado con aditivos para que el producto responda a las necesidades del cliente y mejorar sus características de tiempo de fraguado, resistencia mecánica, adherencia, retención de agua, viscosidad, porosidad, densidad, color, entre otros factores; no ocurre así con la escayola de los prefabricados, que no se adicionan ningún aditivo.

- f) **Almacenamiento:** Una vez pulverizado el yeso se almacenan en silos o depósitos especiales protegidos de la humedad, Finalmente se realiza el ensacado de 10 o 25 kilos de acuerdo a la presentación o la marca con la identificación correspondiente. Se selecciona el empaque correcto para cada uno de los productos, ofreciendo envasado de óptima protección que mantenga la calidad del producto durante todo su trayecto hasta llegar al usuario final.
- g) **Comercialización:** Una vez pasado el control de calidad el yeso para estuco obtenido, debe reunir las características indicadas en la sección de molienda, propiedades que exige el cliente para su utilización; además, debe ser competitivo en el mercado local y nacional.

2.2.4. Hidratación (fraguado de yeso)

Para (Pinto, 2017), en su publicación Proceso de deshidratación del yeso, la hidratación del yeso es el proceso inverso a la deshidratación; al mezclar el yeso en polvo con agua para su uso, comienza una reacción química basada en la

diferencia de solubilidad. De este modo, la naturaleza nos proporciona un material único; pues, aunque tiene una solubilidad relativamente baja en agua, existe una diferencia marcada entre la mayor solubilidad del semihidratado.



Para (Roldán, 2011), el sulfato de calcio hemihidrato, cuando se adiciona agua adecuada de amasado se realiza la hidratación en condiciones ambientales; es decir, se convierte en sulfato de calcio di hidratado. Este proceso se realiza para producir una mezcla homogénea, fluida y estable, que con el tiempo pierde su carácter plástico y endurece.

2.2.5. Relación agua yeso en el amasado

Es el tiempo que requiere para volver a su estado original de dihidrato (DH); es decir, es la capacidad de endurecer la fase anhidra del yeso al añadirles una cantidad adecuada de agua.

Según (Sánchez, 2003), este fenómeno tuvo mayor relevancia y de cuidado por presentar una fácil variación en su estructura; además, el de mayor influencia, especialmente por presentar porosidad del producto final; este fenómeno ocurre cuando se incorpora agua que aumenta su red cristalina; por tanto, el exceso de agua incrementa la porosidad.

La relación agua yeso (A/Y) que recomienda este autor es entre 0.6 y 1.0, que son los límites aceptables de trabajabilidad de la mezcla. Para el caso de esta investigación se determinará la relación agua/yeso con el material del yacimiento en estudio, bajo de la relación agua/yeso, según Norma (UNE-EN 13279-2: 2006),

2.2.6. Métodos de ensayos para yesos de construcción.

a) **Determinación de la relación agua/yeso:** Se determinará de acuerdo a la norma española (UNE-EN 13279 -2, 2006) expresado en gramos por el método amasado a saturación, la que se puede saturar cuando se amasa a saturación en 100 gramos de agua; se aplica este método a conglomerantes a base de yeso. La relación agua/yeso, **R**, viene dada por la expresión:

$$R = \frac{100}{mf - mi} \dots\dots\dots (3)$$

Donde:

R = relación agua yeso

mi = peso del recipiente más agua, en g.

mf = peso del recipiente más agua y conglomerante, en g.

Para realizar el ensayo necesitamos:

- Un recipiente de vidrio de 76 mm de diámetro interior, marcar a los 6 y los 32 mm.
- Un cronómetro
- Balanza de precisión.

Procedimiento:

Se pesa 100 g de agua en el recipiente de vidrio, se anota la masa del recipiente con el agua (**m0**), se espolvorea el yeso uniformemente, a los 30 segundos la pasta de yeso debe alcanzar la primera marca, a los 60 segundos la segunda marca, continuar espolvoreando hasta que a los 90 ± 10 segundos la pasta alcance unos 2 mm por debajo de la superficie del agua, durante los 20 a

40 segundos posteriores la cantidad de yeso espolvoreado a la superficie del agua será lo suficiente para desaparecer la capa de agua, se elimina el exceso de yeso; se determina la masa del recipiente con el agua y el conglomerante (m_1). Este ensayo se repite al menos 2 veces y se calcula el valor promedio del conglomerante espolvoreado. La relación agua/yeso se determina según la ecuación 3.

En el caso de yesos de fraguado muy lento, puede que no se alcancen las marcas de nivel en el tiempo señalado. En este caso debe espolvorearse el yeso de forma que caiga sobre la parte del agua en la que no haya yeso y no sobre las zonas en las que se haya espolvoreado. Anotarse el tiempo de espolvoreado. Antes de pesar, se elimina el exceso de yeso de los bordes del recipiente de vidrio. Finalmente, se determina la masa (m_1) con una precisión de 0,5 g.

a) **Preparación de la probeta de ensayo.** Según la misma norma se prepara la mezcla agua y yeso siguiendo el mismo procedimiento con la relación agua /yeso obtenido con el material del yacimiento en estudio.

Figura 16:

Dimensiones de la probeta

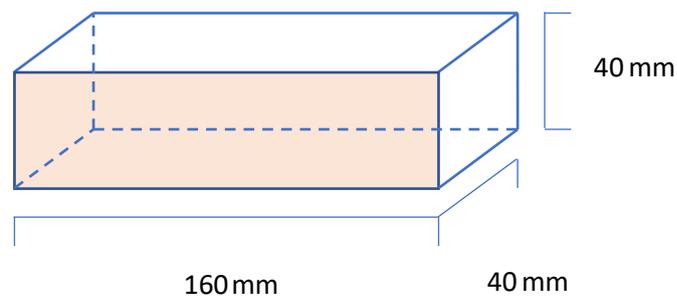


Figura 17:

Molde para preparar probetas según Norma UNE-EN 13279 -2, 2006



La pasta preparada con la relación agua/yeso obtenido, se vierte a los moldes previamente untados con aceite u otro lubricante para que el desmoldado sea más rápido; para eliminar las burbujas de aire levantar el molde 10 mm aproximadamente y dejarlo caer, repetir unos 5 veces. Repetir esta operación 5 veces por lo menos; el tiempo que debe permanecer dentro del molde no debe exceder a 10 minutos desde el comienzo del amasado y su superficie no debe ser alisada; cuando la pasta haya fraguado debe eliminarse el material sobrante. Una vez que la pasta haya adquirido una resistencia adecuada, se procede a desmoldar e identificar. Las probetas deben mantenerse durante siete días en la atmósfera de laboratorio a una temperatura de 23°C aproximadamente. En seguida poner las probetas en el horno mufla, para desecarse hasta masa constante a una temperatura de (40 ± 2) °C; finalmente las probetas deben enfriarse en desecador

hasta la temperatura del laboratorio de ensayo; para realizar todo este proceso se requiere de:

- Moldes con base
- Un vaso de precipitado
- Cronómetro
- Espátula
- Regla metálica
- Mufla o desecador
- Balanza de precisión.

Según (Sánchez, 2003) la resistencia a la flexión y a la compresión de los yesos depende de su composición química, finura, cantidad de agua de amasado y del contenido de humedad al momento de la rotura. Según la norma indicada, se tienen los siguientes procedimientos para los ensayos:

Figura 18:

Preparación de probeta



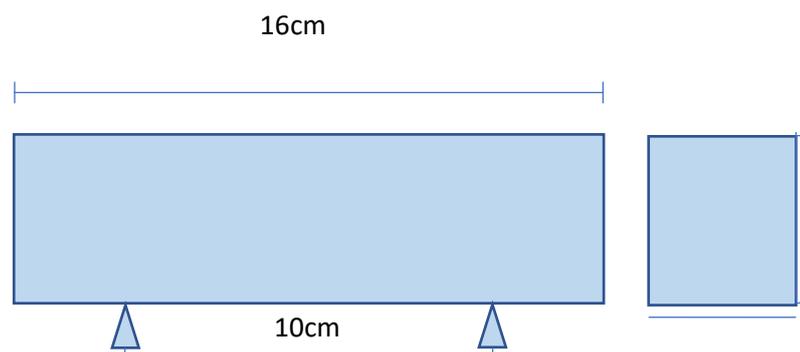
Figura 19:
Fraguado de probeta



2.2.7. Determinación de las propiedades mecánicas

- a) *Determinación de resistencia a flexión.* Según la norma indicada. para este ensayo se necesita una máquina prensa con dispositivo para resistencia a flexión, probetas de yeso, flexómetro o regla.

Figura 20:
Posición de la probeta para ensayo a flexión



Para determinar la resistencia de la probeta se coloca sobre dos rodillos del dispositivo de flexión cuyos centros están separados 100 mm y mediante el dispositivo de la máquina se aplica una

carga con velocidad de 50 newtons por segundo hasta que se rompa la probeta.

Se anota el valor de la carga aplicada expresada en newtons, al menos se ensayan 3 probetas, se calcula el valor medio de la resistencia a flexión, los trozos se conservan para realizar el ensayo a la resistencia de compresión.

La resistencia a flexión R_f viene dada por la ecuación:

$$R_f = 0.00234 \times P \dots\dots\dots (4)$$

Donde:

R_f : es la resistencia a flexión en N/mm^2

P: es la carga media de rotura en N de al menos, 5 valores obtenidos.

También se puede obtener la resistencia a flexión por la siguiente ecuación

$$R_f = \frac{3}{2} \times \frac{(P \times L)}{(b \times h^2)} \dots\dots\dots (5)$$

Donde:

R_f = resistencia flexión en Kp/cm^2 o N/mm^2

P = carga en N

L = luz entre rodillos en mm

B = lado de la probeta en mm

H = fondo de la probeta en mm

b) *Determinación de resistencia a compresión axial simple:*

Siguiendo la misma norma; para este ensayo, se necesita una máquina prensa con dispositivo para compresión, de los trozos procedentes del ensayo a flexión, un flexómetro o una regla.

Si el ensayo de compresión no se realiza inmediatamente después del ensayo de flexión, los trozos de las probetas se deben guardar en un desecador. Para realizar el ensayo a compresión se emplean las mitades obtenidas del ensayo a flexión. Los trozos de las probetas se colocan con las caras laterales hacia arriba y hacia abajo entre los dos platos de acero de la prensa de compresión, de tal manera que los lados de la probeta contacto con las caras del molde estén también en contacto con los platos de la prensa cuya sección de 40 mm × 40 mm, luego aplicar la carga sobre la probeta hasta su rotura. Se debe calcular con el promedio de valores obtenidos y expresar en N/mm². La carga de resistencia a compresión R_c viene dada por la fórmula.

$$R_c = P/A \dots\dots\dots (6)$$

Donde: R_c = resistencia a compresión en N/mm²

P = carga máxima de rotura en N (carga promedio)

A = área de la probeta en mm²

c) **Tiempo de fraguado (Método del cuchillo):** Para (Samperio, etal. S/F) el tiempo de fraguado es el transcurrido desde la adición del polvo de yeso al agua hasta que se solidifica la pasta. Este proceso es exotérmico donde se genera calor y una expansión por el rápido crecimiento de los cristales durante el fraguado. Cuanto mayor es la proporción A/Y, mayor es el tiempo de fraguado y débil será el producto final de yeso.

Según la misma norma, este método se usa para conglomerantes a base de yeso, el principio de fraguado es cuando la pasta en estado líquido pasa al estado plástico.

Para este método de ensayo el tiempo se expresa en minutos; es decir, cuando los bordes de la hendidura producido por el cuchillo sobre la pasta del yeso dejan de acercarse; para realizar este ensayo se requiere:

- Un vaso de precipitado
- Un recipiente de amasado
- Cronómetro
- Cuchillo metálico
- Espátula
- Placas de vidrio de 400 x 400 mm
- Balanza de precisión

Se activa el cronómetro en el momento en que se pone en contacto el yeso con el agua (t_0), se prepara la pasta con la relación agua/yeso obtenido, se vierte la pasta sobre las placas de vidrio formando tres galletas de aproximadamente de 100 a 120 mm de diámetro y unos 5 mm de espesor. Para determinar el tiempo de fraguado se realiza cortes en la galleta. Tras cada corte, el cuchillo se limpia cuidadosamente y secar. Los cortes se deben hacer a intervalos no superiores a $1/20$ del tiempo esperado del principio de fraguado; dos de las galletas se emplean para hacer los cortes y en la tercera se realiza los cortes definitivos.

Se alcanza el principio de fraguado T_f cuando los labios de la hendidura realizadas en el tiempo (t_1) no se acercan.

El principio de tiempo de fraguado T_f viene dado por la fórmula:

$$T_f = t_i - t_f \dots\dots\dots (7)$$

Donde:

T_f = es el tiempo de fraguado en minutos t_i = es el momento en que se pone el yeso en contacto con el agua, en minutos t_f = es el tiempo en el que los labios de la hendidura realizada sobre el yeso con el cuchillo dejan de acercarse, en minutos.

d) Período inicial de absorción. Según Norma Técnica Peruana (NTP 399.604 y 399.613 200) para unidades de albañilería; los equipos y materiales requerido son;

- Balanza de precisión, capacidad a 2000 g y aproximación de 0.5 g
- Horno mufla para secado
- Recipientes y bandejas para agua, con una profundidad no menor de 25 mm, y de largo y ancho tales que la superficie del agua no sea menos de 2 litros. La base de la bandeja deberá ser plana. Las dimensiones no serán menores a 200 mm de largo y 150 mm de ancho.
- 6 unidades por cada temperatura de calcinación
- Cronómetro

Procedimiento.

Para realizar esta prueba, previamente se debe identificar a las probetas, estibar al horno de secado a 40°C de temperatura por un

período de 24 horas hasta estar completamente secas, se descarga para enfriar a temperatura ambiente por espacio de 3 horas; pesar las unidades después de haberse enfriado; una vez anotadas los pesos de cada muestra se sumerge en agua limpia que puede ser potable, destilada o agua de lluvia a temperatura entre 15°C a 30°C por un periodo de 2 horas.

Retirar las muestras, limpiar el agua remanente de la superficie con un paño seco y pesar cada una de ellas en los cinco minutos siguientes luego de ser retirados del agua, anotar los pesos en las fichas.

Para calcular el porcentaje de absorción se aplica la siguiente fórmula.

$$A\% = \frac{w_2 - w_1}{w_1} \cdot 100 \dots\dots\dots (6)$$

Donde: **A%**, porcentaje de absorción

W1: Peso seco de la muestra

W2: Peso de la muestra saturado, después de la sumersión en agua fría. Calcular el promedio de absorción de los especímenes ensayados con aproximación a 0,1 %.

2.2.8. Aplicaciones del yeso

El yeso es uno de los minerales más ampliamente utilizados en las diferentes industrias. En la actualidad existe una amplia gama de aplicaciones:

a) En la industria de la construcción: Por sus excelentes propiedades bioclimáticas, de aislamiento y regulación higrométrica, mecánicas y estéticas se utilizan en estucados, prefabricados como: paneles de yeso para tabiques, y

escayolados para enlucidos de techos, se usa también como aislante térmico, por ser mal conductor del calor y la electricidad.

- b) *En la industria cerámica:*** El yeso, es utilizado para fabricar moldes de alta calidad, utilizado en cerámica mediante colado; proporcionando un control adecuado de absorción, dureza, densidad y resistencia. Su uso va desde moldes pequeños para vajilla, hasta moldes grandes de muebles para baño como sanitarios.

Según Rivero (1997) se utiliza el yeso en la industria cerámica para lo cual se prepara una mezcla líquida de arcilla en agua, luego son coladas a un molde de escayola poroso, éste absorbe parte del agua y al cabo de 1-2 horas se forma las paredes de varios milímetros, el agua que queda se elimina por volteo, después de un tiempo de secado se desmoldea la pieza cerámica.

- c) *En agricultura:*** Se usa como fertilizante para mejorar las tierras agrícolas en terrenos secos y alcalinos; además, por su composición química rica en azufre y calcio, es un componente de gran valor como fertilizante de los suelos, en este proceso se debe emplear el yeso natural; es decir, sin calcinar, sólo pulverizado para dispersar en el terreno.

Según, (INTAGRI S.C., S/F). en su publicación Manual de Uso del Yeso Agrícola como mejorador de suelos, indica que, las propiedades químicas del suelo que se mejoran con la aplicación del yeso son:

Bajar la acidez del subsuelo, así como la toxicidad por aluminio; además favorece el enraizamiento y la capacidad absorbente del agua y nutrientes durante periodos de sequía; y

Mejorar los suelos con alta presencia de sodio. Estas características del yeso benefician grandemente a los productores.

- d) **En medicina:** Se utilizan especialmente en traumatología para elaborar vendas de yeso, fabricación de moldes para usos quirúrgicos, en la inmovilización de huesos y facilitar la regeneración ósea en una fractura. en odontología para la fabricación de placas dentales y en la producción de pasta dentífrica.
- e) **En Odontología.** (Zhermack SpA, S/F), el yeso se utiliza principalmente para realizar modelos de estudio o diagnóstico y modelos de trabajo; los de estudio son para evaluar los casos clínicos para prótesis o para realizar ortodoncias, mientras que los de trabajo son para tomar impresiones de la estructura de las prótesis en implantes
Deben ser exento de impurezas, no debe contener ingredientes que puedan causar una reacción tóxica sobre las personas.
- f) **En la industria química y farmacéutica:** Asimismo, (Rivero, 1997) menciona que, el yeso en las preparaciones farmacéuticas se usa como mineral natural de yeso y como anhidrita, se utiliza en la fabricación de cápsula orales como en tabletas por sus características de compresión y disgregación; mientras que La anhidrita se utiliza como agente desecante. Se emplea también, como fuente de calcio en componentes de medicamentos, fabricación de lápices labiales, etc.; por su contenido de azufre, se utiliza para la obtención del ácido sulfúrico y como material fundente en la industria de fundición de metales.
Otra de las aplicaciones con más arraigo es la utilización del sulfato de calcio como carga en las industrias del papel, pinturas, plásticos, adhesivos, etc. Todas estas aplicaciones, es debido a las propiedades inherentes más importantes que posee como: bajo precio, bajo peso específico, adecuada

absorción de aceite, alta blancura, poder opacificante, baja abrasividad, baja demanda de ligante y buena compatibilidad con otros pigmentos y cargas minerales como carbonatos, arcillas, etc.

- g) En la industria de alimentos. Es utilizado* en el tratamiento de agua para regular el pH en la elaboración de bebidas como cerveza, limpieza de vinos, refinación de azúcar, en enlatado de vegetales y en alimentos para animales por su contenido de calcio.
- h) En la fabricación de cementos:* (Cifuentes, 2015, p.7) cita en su tesis a (Schubnell, 2007, p.16) quien afirma que el yeso es utilizado en la fabricación de cemento como aditivo para retardar el tiempo de fraguado, sin yeso en el cemento el aluminato de calcio hidratado cristaliza en menos de 10 minutos, este aditivo puede retardar desde unas pocas horas hasta días; llevando un buen control el contenido exacto de sulfato de calcio di hidratado y hemihidratado.
- i) En medio ambiente:* Últimamente se están aplicando el yeso en las remediaciones ambientales en suelos y ríos contaminados con metales pesados de los relaves y pasivos mineros, etc. bajando el pH de aguas las ácidas que emanan de las diferentes empresas mineras.

2.3. Definición de términos básicos

2.3.1. Calcinación

La calcinación es un proceso químico en el cual una muestra sólida se somete a altas temperaturas en presencia o ausencia de oxígeno. La muestra puede ser de naturaleza orgánica o inorgánica, pero en especialmente son de minerales, arcillas, etc.

En el mismo artículo se menciona que lo que se busca con la calcinación no es fundir el sólido sino es provocar una descomposición térmica del material, lo que resulta en la eliminación de componentes volátiles, la deshidratación, la oxidación o la reducción de ciertos compuestos para cumplir con lo requeridos en sus aplicaciones. El ejemplo más conocido es el de la calcinación de yeso natural (aljez) para convertirla en yeso estuco necesario para la industria de la construcción, entre otros usos. (Bolívar, 2019).

Calcinación es totalmente distinto a cocción; la cocción, se refiere sobre todo a los alimentos por el cual se preparan con la ayuda de la acción térmica, estos experimentan cambios, físicos, químicos y/o biológicos, que involucran alteraciones en su aspecto, textura, composición química, sabor y valor nutritivo.

2.3.2. Resistencia

Se entiende por lo general como la capacidad de resistir un material frente a una carga aplicada; es decir, capacidad de resistir a la carga antes de fracturarse durante el máximo tiempo posible, (Hohmann, Lames, & Letzelter, 2005)

2.3.3. Análisis cuantitativo.

Comprende el análisis de datos numéricos, es propio de la metodología cuantitativa, se vale de las técnicas estadísticas descriptivas e inferenciales. Los programas o paquetes estadísticos que se emplean en computadora pueden realizar el análisis cuantitativo en un tiempo sumamente corto, dependiendo de la amplitud de los datos recopilados. (Sánchez, Reyes, & Mejía, 2018).

2.4. Formulación de hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

¿Los cambios de temperatura de calcinación influirá en la determinación de las propiedades físicas y mecánicas del yeso proveniente del centro poblado menor de Rocco?

2.4.2. Hipótesis específicas

- a)* En la calcinación a 120, 150 y 200°C variará la resistencia a flexión del yacimiento de yeso; es decir, ¿a mayor temperatura de calcinación, mayor será la resistencia a flexión?
- b)* En la calcinación a 120, 150 y 200°C variará la resistencia a compresión axial simple del yacimiento de yeso; ¿a mayor temperatura de calcinación, será mayor la resistencia a la compresión?
- c)* En la calcinación a 120, 150 y 200°C variará el tiempo de fraguado del yacimiento de yeso; ¿a mayor temperatura de calcinación, será mayor el tiempo de fraguado?
- d)* En la calcinación a 120, 150 y 200°C variará el período inicial de absorción del yacimiento de yeso; ¿a mayor temperatura de calcinación, será mayor el periodo inicial de absorción?

2.5. Identificación de variables

2.5.1. Variables independientes

- Temperatura de calcinación

Es la cantidad de calor a la que será sometido el yeso natural o aljez, a temperaturas de 120, 150 y 200°C para convertirse en yeso estuco; es decir, yeso para la industria de la construcción.

Indicador: pirómetro digital incorporado al horno en grados Celsius.

- Yeso

Yeso estuco producto de la calcinación de la materia prima en estudio.

Indicador: cantidad de agua en ml, yeso en gr; es decir, la relación agua/yeso.

2.5.2. Variables dependientes.

a) *Resistencia a flexión.*

Es el esfuerzo máximo que debe soportar la probeta antes de romperse, pruebas que se harán para cada una de las probetas calcinadas a las temperaturas de estudio.

Indicador: la resistencia a flexión, en kg/cm^2

b) *Resistencia a compresión axial simple.*

Es el esfuerzo máximo que soporta la probeta antes de fracturarse a una carga aplicada, las pruebas se harán con las probetas rotas del ensayo de flexión.

Indicador: la resistencia a flexión axial simple, en kg/cm^2 .

c) *Tiempo de fraguado.*

Por el método del cuchillo, es el tiempo en que los bordes de una hendidura producida por la hoja del cuchillo sobre la galleta de yeso dejan de acercarse.

Indicador: tiempo de fraguado, en minutos.

d) *Absorción:*

Es la capacidad de absorber un líquido o un gas en contacto de un cuerpo por la porosidad existente en su estructura.

Indicador: el período inicial de absorción, en g/min/cm^2 .

2.6. Definición operacional de variables e indicadores

La definición operacional se muestra en la tabla 4

Tabla 4:
Definición operacional de variables e indicadores – yeso centro poblado menor de Rocco

TIPO DE VARIABLE	DENOMINACIÓN DE LA VARIABLE	DEFINICIÓN DE VARIABLES	NIVEL	INDICADOR	INSTRUMENTO METODOLÓGICO
Independiente	Temperatura de calcinación	Cantidad de calor aplicada al horno.	1 20,150 y 200°C	°C	Se aplicará guías de recolección de datos
Independiente	Yeso	Yeso estuco producto de la calcinación.	eso e yacimie nto Rocco.	Y Agua en (ml), yeso en (gr), Relación agua/yeso.	Se aplicará guías de observación
Dependiente	Resistencia a flexión	Carga máxima que resiste la probeta antes de romperse en el ensayo.	– 50 kg/cm ²	5 Fuerza en Kg área en cm ²	Se aplicará guías de recolección de datos e Instrumento de Ingeniería.
Dependiente	Resistencia a compresión axial simple	Carga máxima que resiste antes de que se fracture en el ensayo.	0 – 100 Kg/cm ²	1 Fuerza en Kg área en cm ²	Se aplicará guías de recolección de datos e Instrumento de Ingeniería
Dependiente	Tiempo de fraguado	Tiempo necesario que necesita para las reacciones de rehidratación.	– 60	1 Tiempo en min. min.	Se aplicará guías de recolección de datos e Instrumento de Ingeniería
Dependiente	Período inicial de absorción	Es la cantidad de agua capaz de absorber por capilaridad.	0 – 50 g	2 Cantidad de agua Absorbido en gr/min/cm ²	Se aplicará guías de recolección de datos e Instrumento de Ingeniería

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

Según Cortés e Iglesias (2004, p.7) la Metodología de la Investigación o llamado también Metodología de la Investigación Científica es la ciencia que da al investigador una serie de conceptos, principios y leyes para hallar de un modo correcto y eficiente para llegar a la excelencia el proceso de la investigación científica.

La investigación científica es cuando el hombre se propone a dar solución a los problemas de la vida cotidiana, aprovechar la naturaleza que lo rodea y transformarla en beneficio de los intereses y necesidades de una población.

3.1. Tipo de Investigación

Diferentes autores clasifican los tipos o enfoques de la metodología de la investigación, algunos clasifican según los propósitos del estudio, en pura y aplicada; según el nivel que alcanzará en explorativa, descriptiva y explicativa; según las fuentes que originan la información en documental; y Cortés e Iglesias (2004, p.9) clasifica en cuantitativo, cualitativo y mixto. Por otro lado, Solís E. 2008, Gay L.R., 1996, Rodríguez M.A., 1986, Sánchez C, Reyes Meza, 1984, Piscoya. 1982; Arista, 1984; Ander-Egge, 1974; Ñaupas y otros 2013 concuerdan

que existen dos tipos de investigación: la investigación básica, pura o fundamental y la investigación aplicada o tecnológica; para el presente estudio tomo el enfoque cuantitativo y experimental.

En el enfoque cuantitativo, el proceso de investigación utiliza mediciones numéricas, así como también la observación del experimento, recolectar datos y analizarlos para llegar a los objetivos deseados.

Las etapas que debe seguir en una investigación científica experimental son: plantear el problema de investigación, las hipótesis, elaborar el diseño experimental, ejecutar el experimento, analizar los resultados y enunciar las conclusiones.

El tipo de investigación que se aplicará es cuantitativo – experimental; porque, nos permite evaluar la realidad en función de parámetros que son medibles en los ensayos de laboratorio. Además, está orientada a la descripción, predicción y explicación de datos medibles.

Según (Hernández, 2004, p.6), en la investigación cuantitativa se generaliza los resultados determinados de la muestra en el trabajo experimental; nos da, además, la posibilidad de generalizar los resultados más ampliamente; asimismo, podemos controlar los fenómenos que ocurren, así como un punto de vista de conteo las magnitudes de estos, podemos realizar una réplica y realizar comparaciones con trabajos similares.

Al final, del estudio podemos explicar y predecir los fenómenos investigados y demostrar las teorías planteadas.

Por las definiciones descritas en líneas arriba, se concluye que una investigación cuantitativa se demuestra a través de datos numéricos gracias a procedimientos estadísticos que ayudan a la solución de problemas. Este tipo de

investigación necesita de pruebas para obtener datos cuantificables de lo estudiado en una población.

3.2. Nivel de investigación

Tiene nivel descriptiva - explicativa

3.3. Métodos de investigación

El método de la investigación trata de demostrar con resultados los objetivos propuestos y si la respuesta es válida; entonces, se afirma que el método utilizado es el **hipotético-deductivo**.

Según (Hernández, 2004), el método hipotético-deductivo tiene varios pasos: observar el fenómeno a estudiar, formular hipótesis para explicar dicho fenómeno y verificar o comprobar los enunciados deducidos comparándolos con la experiencia. Este método se aplica cuando se plantea una hipótesis al suponer una respuesta, se trata, además demostrar con los resultados si la respuesta es válida o no.

3.4. Diseño de investigación

El diseño de investigación, es el plan o estrategia del investigador para afirmar si el material estudiado es bueno o es malo para producir un producto de calidad que sea competitiva en la industria de la construcción.

(Hernández, et al, 2014, p.129) afirma sobre la investigación cuantitativa que es posible encontrar diferentes clasificaciones de diseños; como, investigación experimental e investigación no experimental. A su vez, la primera puede dividirse de acuerdo con las clásicas categorías de Campbell y Stanley (1966) en: preexperimentos, experimentos “puros” y cuasiexperimentos. Para el presente estudio tomo como diseño de investigación experimental.

Las pruebas se realizan a través de diseños experimentales donde se manipula la variable independiente para medir su efecto sobre la dependiente, apoyado en el control de variables intervinientes; en la investigación que realizamos se varió una variable independiente; es decir, la temperatura de calcinación y la carga aplicada en las probetas calcinadas.

3.4.1. Diseño experimental

Hernández, cita en su libro a (Babbie, 2014), quien define que el término experimento tiene dos acepciones, una general y otra particular. La general es cuando se realiza una acción y observar las consecuencias Cuando realizamos un experimento se mezclan sustancias o materiales y se observa la reacción provocada, o si estos materiales son sometidos a temperaturas altas, observamos cambios físicos provocados por la acción del calor. Para realizar un experimento se requiere la manipulación del hombre para analizar los resultados obtenidos.

3.4.2. Diseño de Ingeniería

Son todas las actividades que se realizan para obtener el producto final, tales como, identificar fuentes de información, tener conocimiento de búsqueda de técnicas de información, conocimientos técnicos; finalmente, tener habilidades, creatividad, liderazgo capacidad analítica entre otras.

a) Reconocimiento del yacimiento: Para el desarrollo del estudio, en el mes de mayo del 2022 se solicitó el permiso a las autoridades del centro poblado menor de Rocco, con la autorización requerida se realizó el reconocimiento y exploración del yacimiento; además, se tomó puntos específicos para la extracción de la muestra en estudio.

Figura 21:
Exploración del yacimiento



b) Extracción de muestras: Entre los meses de junio y julio del mismo año se sacó las muestras aproximadamente 20 kilogramos para llevar a cabo todo el proceso experimental en el laboratorio de metalurgia de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.

Figura 22:
Sacando muestra del yacimiento



- c) **Trituración:** Al material extraído de 15 a 20 cm diámetro en promedio se procederá a reducir de tamaño en la trituradora a 3 – 4 cm de diámetro, en este caso la trituración se realizó manualmente.

Figura 23:
Muestra del mineral - aljez



Figura 24:
Trituración manual del material



Figura 25:

Material triturado para el cuarteo



- d) **Calcinación:** La muestra resultante de la trituración pasa a la siguiente etapa de calcinación previamente cuarteado para obtener la muestra representativa y estivar al horno eléctrico a temperaturas que deben variar entre los 120°C, 150°C y 200°C de acuerdo a los objetivos propuestos.

Tabla 5:

Resultados de calcinación de aljez

TEMP.°C	TIEMPO Horas	FRAGUA Minutos	TIEMPO Horas	FRAGUA Minutos	TIEMPO Horas	FRAGUA Minutos
120	2.00	Nula	4.00	Nula	6.00	incipiente
150	2.00	Nula	4.00	Incipiente	6.00	12.6
200	2.00	Nula	4.00	44	6.00	4.6

En *la* tabla 5 se observa que la calcinación a 120°C no responde con la expectativa propuesta; por tanto, se descartó esta prueba.

Figura 26:

Estibando el material triturado al horno eléctrico para calcinar



- e) **Molienda.** Una vez calcinado se pasa directamente a la molienda; en este proceso, se utilizó el pulverizador de anillos obteniendo el 80% de malla - 50 en 4 minutos, las que se utilizará para las diferentes pruebas propuestas y el +50 se pasa a la remolienda.

Figura 27:

Molienda de material calcinado



- f) **Ensayos de la muestra:** Con el material pasante de la malla 50 se realizarán en primera instancia la relación agua/yeso para cada una de las temperaturas calcinadas; conociendo la relación agua/yeso de cada producto se procede a

la preparación de las probetas, las mismas que se llevará a secado lento por 7 días hasta llegar a temperatura ambiente; hecho esto, se harán las pruebas de resistencia a flexión, resistencia a compresión axial simple, tiempo de fraguado y absorción.

g) Relación agua/yeso: Este método se usa para conglomerantes a base de yeso, los materiales a usar son:

- Vaso de precipitado de 66 mm de diámetro interior marcados a 16 mm y 32 mm de la base.
- Un cronómetro para medir el tiempo de fraguado
- Balanza de precisión

Figura 28:

Vaso de precipitado



Figura 29:
Balanza de precisión



Figura 30:
Cronómetro para medir el tiempo de fraguado



Procedimiento

Se llena al vaso 100 g de agua, se anota la masa del recipiente con el agua a la que llamamos (m1), se espolvorea el yeso uniformemente hasta que a los 30 seg la pasta alcance los 16 mm y a los 60 seg alcance los 32 mm; se continúa espolvoreando, de modo que a los 90 seg aproximadamente la pasta alcance unos 2 mm por debajo de la superficie del agua, luego de 20 a 40 segundos después la cantidad del material espolvoreado será suficiente

para que desaparezca la capa de agua; se elimina el exceso de material espolvoreado de los bordes del recipiente; se determina la masa del recipiente con el agua y el yeso espolvoreado a la que denominados (m_2), este ensayo se debe repetir por lo menos 2 veces y se determina con el valor promedio del yeso espolvoreado con la siguiente relación.

$$Ra/y = \frac{100 \text{ g}}{m \text{ prom}} \dots\dots\dots (7)$$

Figura 31:
Pesado de agua 100 g



Figura 32:
Espátula



Figura 33:

Molde para preparar probetas según norma



Figura 34:

Balanza de precisión



h) Preparación de probetas de ensayos. Para preparar las probetas necesitamos los siguientes instrumentos:

Figura 35:

Vaso de precipitado



Figura 36:
Preparando probeta



Procedimiento

Se prepara la cantidad de agua y yeso siguiendo la relación determinada, se mezcla la pasta hasta tener una masa homogénea, luego se vierte al molde con ayuda de espátula previamente lubricados para facilitar el desmoldado; para eliminar las burbujas de aire se sacude uno 5 veces como mínimos, el relleno al molde debe ser como máximo en 10 minutos; cuando la pasta haya fraguado eliminar el exceso con la espátula; cuando haya cierta consistencia se comienza con el desmoldado, llevar a secado en un ambiente adecuado por 7 días a más, cumplido este tiempo poner al horno mufla a 40°C para el secado final, tras el secado enfriar a temperatura del laboratorio para los posteriores ensayos.

Figura 37:
Desmoldando la probeta



3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

Es el universo o conjunto total de probetas prismáticas de 40 x 40 x 160 mm elaborados con yesos calcinados a temperaturas de 150 y 200°C, respectivamente; el yeso calcinado a 120°C propuesto se descarta por no fraguar hasta más de 3 horas; en consecuencia, se preparan un total de 100 unidades por cada temperatura indicada; asimismo, se tomarán 2 kg de cada temperatura pasante por malla 50 para el tiempo de fraguado.

3.5.2. Muestra.

Es una parte de los elementos que se seleccionarán de la población para las pruebas mecánicas. Para el estudio la muestra será de 9 probetas calcinados a 150°C y 9 probetas a 200°C para la prueba de resistencia a flexión; las probetas resultantes del ensayo de flexión serán utilizadas para el ensayo de compresión axial simple; es decir, se harán 18 pruebas por cada temperatura de calcinación; por otro lado, se utilizarán 8 probetas para el ensayo de absorción por cada temperatura, con un total de 17 probetas y 2.0 kg de yeso malla -50 por cada temperatura para el tiempo de fraguado. Ver Tabla 3.

Los ensayos de las propiedades físico - mecánicas se realizará tomando como base para yesos de construcción indicado por la norma española UNE-EN 13279-2: 2006 con los yesos según la relación agua/yeso obtenidas para cada una de las temperaturas de calcinación. Ver detalles en el diagrama de flujo experimental figura 40.

Figura 38:

Secado de la muestra seleccionada



Figura 39:

Diagrama de flujo del experimento

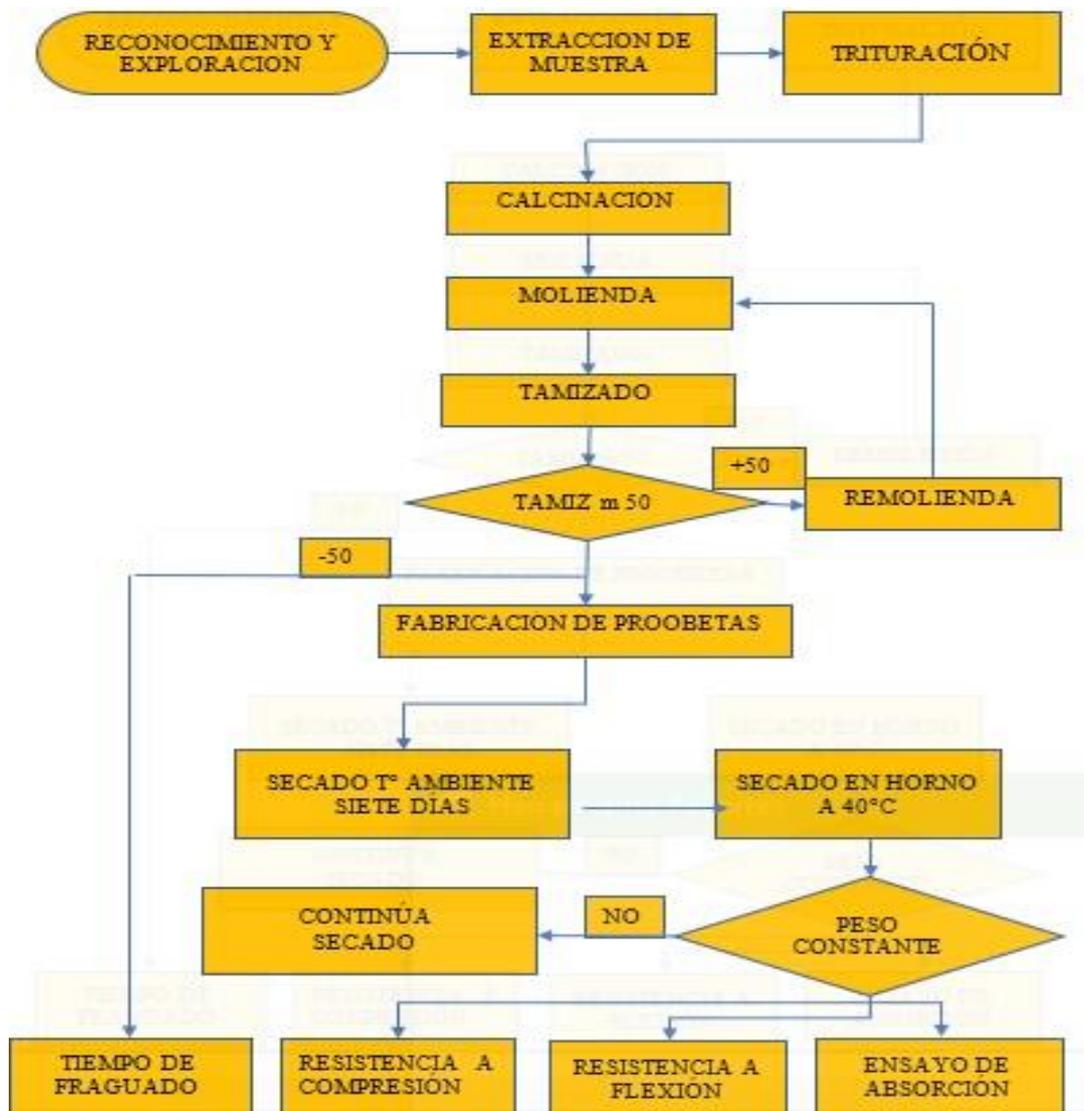


Tabla 6:

Muestra de probetas para ensayos físico-mecánicas

ENSAYOS	TEMPERATURA			
	120°C	150°C	200°C	TOTAL
Resistencia a flexión		09 unid	09 unid	18
Resistencia a compresión		18 unid	18 unid	36
Absorción		08 unid	08 unid	16
Tiempo de fraguado		2.0 kg	2.0 kg	4.0 kg

Nota: * Probetas resultantes de las pruebas de resistencia a flexión

Para la evaluación correcta del material se tomó en cuenta los siguientes criterios:

- La materia prima fue extraída del yacimiento del centro poblado menor de Rocco.
- La sección transversal de las probetas 40 mm x 40 mm y 160 mm de longitud según norma indicada.
- 80% de yeso pulverizado malla -50
- Las probetas se secaron por 10 días hasta temperatura ambiente del laboratorio,
- Secado en una mufla a temperatura de 40°C por 24 horas hasta obtener pesos constantes de las probetas.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.6.1. Técnicas

Según Arias (2006 p. 67) las técnicas de recolección de datos son las diversas formas, maneras o procedimientos de obtener una información real, mediante la observación, entrevistas, y encuestas. Asimismo, el mismo autor en la página 69 señala que los instrumentos utilizados son medios materiales que se emplean para recoger y almacenar datos.

3.6.2. Instrumentos de recolección de datos

El mismo autor, en la página 68 afirma que los instrumentos de recolección de datos son recursos, dispositivos o formatos que pueden ser en papel o en digital las que se utilizan para registrar o almacenar información; tales como: fichas, cuestionarios, libretas de notas para registrar lo observado, computadoras para almacenar datos en el disco duro, CD o memorias externas, dispositivos como cámara fotográfica y de video, filmadoras, grabadores de audio o video, etc.

a) *Fichas de observación*

Tabla 7:

Ficha para ensayo de resistencia a flexión

Laborat. Laboratorio de Suelos y Concreto	Fecha : _____
UNDAC	N° de muestra: <u>09</u>
Ubic. Yacimiento: Centro Poblado Rocco	Temp.Calcina: _____
<hr/>	
MUESTRA	Ff
01	.-.
02	.-.
03	.-.
04	.-.
05	.-.

Nota; Ff: es la carga de rotura en N

Tabla 8:

Ficha para ensayo de resistencia a compresión axial simple

LABORAT. Laboratorio de Suelos y		Fecha :
o UNDAC		_____
Ubic. Yacimiento: Centro P		N° muestra :
Rocco		<u>18</u>
		Temp.Calcina.

MUESTRA	Fc	L (mm)
01	.-	.-
02	.-	.-
03	.-	.-
04	.-	.-
05	.-	.-
06	.-	.-
07	.-	.-
18	.-	.-

Nota: Fc: máxima carga de rotura en N

Tabla 9:

Ficha para determinación de tiempos de fraguado

Laborat.: Laboratorio metalurgia **Fecha** : _____
UNDAC
N° muestra : 06
Ubic. Yacimiento: Centro Poblado Rocco
Temp. Calcina. : _____

MUESTRA	Ti	tf	D
01	.-	.-	.-
02	.-	.-	.-
03	.-	.-	.-
04	.-	.-	.-
05	.-	.-	.-
06	.-	.-	.-

Nota: ti: momento en que se pone en contacto el yeso con el agua, en minutos.

tf: tiempo donde los labios de hendidura realizada dejan de acercarse, en minutos.

D: Diámetro de la galleta en mm

Tabla 10:

Ficha para determinar periodo inicial de absorción

Loborat. Laboratorio metalurgia **Fecha** : _____
UNDAC
Muestra N°: 08
Ubic. Yacimiento: Centro Poblado Rocco **Temp. Calc:** _____

MUESTRA	ANCHO	LARGO	Wi	Wf
01	.-	.-	.-	.-
02	.-	.-	.-	.-
03	.-	.-	.-	.-
04	.-	.-	.-	.-
05	.-	.-	.-	.-
06	.-	.-	.-	.-
07	.-	.-	.-	.-
08	.-	.-	.-	.-

Wi: Peso inicial del espécimen secado, en gr

Wf: Peso final del espécimen después del contacto con el agua, en gr

Largo y ancho en mm

b) Instrumentos de cálculo: Según (Mejía, 2005, p. 19-20) son herramientas con las cuales se efectúan ciertas operaciones para recopilar informaciones así obtener ciertos valores de algo con mayor eficiencia y rapidez.

En la investigación se utilizan varios instrumentos para recopilar información, como: fichas, guías, entrevistas, observaciones, documentos de archivos, experimentos de laboratorios, cuestionario de papel o cuestionarios online entre otros, para el presente estudio se utilizó fichas y guías.

Tabla 11:

Instrumento de cálculo de la resistencia a flexión

Labort.: Laboratorio de metalurgia UNDAC Ubic.		Fecha : _____				
Yacimiento: Centro Poblado Rocco		N° de muestra : <u>09</u>				
		Temp. Calcina: _____				
MUESTRA	Xi = F(N)	Media X	Xi - X	(Xi - X)²	S	EVALUAC.
01	-	-	.-	.-	.-	.-
02	.-	.-	-	.-	.-	.-
03	-	-	.-	.-	.-	.-
04	.-	.-	-	.-	.-	.-
05	-	-	.-	.-	.-	.-
06	.-	.-	-	.-	.-	.-
07	-	-	.-	.-	.-	.-
08	.-	.-	-	.-	.-	.-
09	-	-	.-	.-	.-	.-

Tabla 12:

Instrumento de cálculo de la resistencia a flexión

MUESTRA	Ff
01	.-
02	.-
03	.-
04	.-
05	.-
06	.-
07	.-
08	.-
09	.-

Nota: Ff; carga de rotura en N

$$Rf = 0.00234 \times P \text{ promedio} \dots\dots\dots (8)$$

Rf: resistencia a flexión, se puede expresar en: N/mm² ó Kg/mm²

$$Ds = \sqrt{\frac{\sum(Xi - X)^2}{n-1}} \dots\dots\dots(9)$$

Tabla 13:

Instrumento de cálculo de la resistencia a compresión axial simple

<u>Muestra</u>	<u>Xi = F(N)</u>	<u>Media X</u>	<u>Xi - X</u>	<u>(Xi - X)²</u>	<u>S</u>	<u>Eval.</u>
01	.-	.-	.-	.-	.-	.-
02	.-	.-	.-	.-	.-	.-
03	.-	.-	.-	.-	.-	.-
04	.-	.-	.-	.-	.-	.-
05	.-	.-	.-	.-	.-	.-
06	.-	.-	.-	.-	.-	.-
07	.-	.-	.-	.-	.-	.-
08	.-	.-	.-	.-	.-	.-
09	.-	.-	.-	.-	.-	.-
10	.-	.-	.-	.-	.-	.-
11	.-	.-	.-	.-	.-	.-
12	.-	.-	.-	.-	.-	.-
13	.-	.-	.-	.-	.-	.-
14	.-	.-	.-	.-	.-	.-

15	.-	.-	.-	.-	.-	.-
16	.-	.-	.-	.-	.-	.-
17	.-	.-	.-	.-	.-	.-
18	.-	.-	.-	.-	.-	.-

Tabla 14:

Instrumento de cálculo de la resistencia a compresión axial simple

<u>MUESTRA</u>	<u>Fc (N)</u>	<u>L mm</u>	<u>LxL mm²</u>	<u>Rc (N/mm)²</u>
01	.-	.-	.-	.-
02	.-	.-	.-	.-
03	.-	.-	.-	.-
04	.-	.-	.-	.-
05	.-	.-	.-	.-
06	.-	.-	.-	.-
...
18
				Promedio

$$R_c = \frac{F_c \text{ promedio}}{\text{Area}} \dots\dots\dots (10)$$

Donde: Rc = resistencia a compresión axial simple

Fc =: máxima carga de rotura en N

Área = Área en la que se aplica la carga

La resistencia a compresión axial simple puede expresarse en N/mm² ó Kg/mm², dependiendo de la máquina a utilizar, como también en Megapascal.

Tabla 15:

Instrumento de cálculo de los tiempos de fraguado (método del cuchillo)

Laborat.: Laboratorio metalurgia UNDAC			Fecha : _____			
Ubic. Yacimiento: Centro Poblado Rocco			N° de muestra: <u>10</u>			
			Temp. Calcina: _____			
Muestra	Xi=Fc(N)	Media X	i-X	(Xi-X)²	EVALUA C.	
01	.-	.-	.-	.-	.-	.-
02	.-	.-	.-	.-	.-	.-
03	.-	.-	.-	.-	.-	.-
04	.-	.-	.-	.-	.-	.-
05	.-	.-	.-	.-	.-	.-
06	.-	.-	.-	.-	.-	.-
...

Tabla 16:

Instrumento de cálculo de los tiempos de fraguado (método del cuchillo)

Laborat.: Laboratorio metalurgia UNDAC		Fecha : _____	
Ubic. Yacimiento: Centro Poblado Rocco		N° de muestra : <u>06</u>	
		Temp. Calcina: _____	
Muestra	ti (min)	tf (min)	T1 (min)
01	.-	.-	.-
02	.-	.-	.-
03	.-	.-	.-
04	.-	.-	.-
05	.-	.-	.-
06	.-	.-	.-

ti: momento en que se pone el yeso en contacto con el agua, en min.

tf: tiempo en que los labios de hendidura realizada en la galleta dejan de acercarse, en min.

T1: tiempo de principio de fraguado, en min.

Tabla 17:

Instrumento de cálculo del ensayo periodo inicial de absorción

Muestra	$X_i=W(g)$	Media X	X_i-X	$(X_i-X)^2$	S	Eval.	T1
01	.-	.-	.-	.-	.-	.-	.-
02	.-	.-	.-	.-	.-	.-	.-
03	.-	.-	.-	.-	.-	.-	.-
04	.-	.-	.-	.-	.-	.-	.-
05	.-	.-	.-	.-	.-	.-	.-
06	.-	.-	.-	.-	.-	.-	.-
07	.-	.-	.-	.-	.-	.-	.-
08							
Promedio	.-	.-	.-	.-	.-	.-	.-

Tabla 18:

Instrumento de cálculo del ensayo periodo inicial de absorción

|Laborat.: Laboratorio metalurgia UNDAC **Fecha** : _____
Ubic. Yacimiento: Centro Poblado Rocco **N° de muestra** : 08
Temp. Calcina.: _____

Muestra	Ancho (mm)	Largo (mm)	Área ₂ (mm)	Absorción			Eval.N° área
				Wi(g)	Wf(g)	g/min/64cm ₂	
01	.-	.-	.-	.-	.-	.-	.-
02	.-	.-	.-	.-	.-	.-	.-
03	.-	.-	.-	.-	.-	.-	.-
04	.-	.-	.-	.-	.-	.-	.-
05	.-	.-	.-	.-	.-	.-	.-
06	.-	.-	.-	.-	.-	.-	.-
0.7	.-	.-	.-	.-	.-	.- 08	.-
	.-	.-	.-				
...

$$W = W_i - W_f \dots\dots\dots (11)$$

Donde:

W = absorción inicial o absorción (g)

Wi = peso seco del espécimen (g)

Wf = después de la inmersión (g)

$$S = \frac{\sqrt{\sum (X_i - \bar{X})^2}}{n-1} \dots\dots\dots (12)$$

3.6.3. Instrumentos de ingeniería

Para este acápite se consideran todos los equipos, instrumentos y herramientas que se utilizan para realizar la parte experimental en el laboratorio, los mismos que se mencionan a continuación:

- a) **Prensa Universal:** Máquina para ensayos de flexión, los resultados expresan en Megapascal y Newton.

Figura 40:

Equipo para ensayo de resistencia a flexión con pistón de



Nota: Laboratorio de Ingeniería Civil

- b) **Máquina Pinzuar:** Equipo para ensayos de resistencia a compresión axial simple, los resultados expresan de Mega Pascal y Newton.

Figura 41:

Equipo para ensayos de resistencia a compresión axial



Nota: Laboratorio de Ingeniería Civil

c) Horno eléctrico

Figura 42:

Equipo para calcinación de aljez



Nota: Laboratorio de metalurgia

d) Horno mufla

Figura 43:

Equipo para desecado de materiales a temperatura constante



Nota: Laboratorio de Metalurgia

e) *Vernier*

Figura 44:

Instrumento que sirve para realizar mediciones de precisión



f) *Placa de vidrio*

Figura 45:

Placa de vidrio de 40cm de largo y 40cm de ancho



g) *Espátula*

Figura 46:

Instrumento para mezclado homogéneo de materiales



h) Balanza de precisión

Figura 47:

Instrumento para pesar con precisión de 0.1gr



Nota: Laboratorio de metalurgia

3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

3.7.1. Ensayo de resistencia a flexión

a) Equipos utilizados en el ensayo

Figura 48:

Vernier para efectuar mediciones de las probetas



Figura 49:
Equipo para ensayo de resistencia a flexión



Nota: Laboratorio de Ingeniería Civil

Procedimiento

Se ubica la distancia entre los dos rodillos de la máquina a 100 mm entre los ejes del cilindro, se colocan las probetas previamente codificadas sobre los dos rodillos y se aplica la carga hasta que falle.

Figura 50:
Probetas codificadas para el ensayo a flexión



Figura 51:

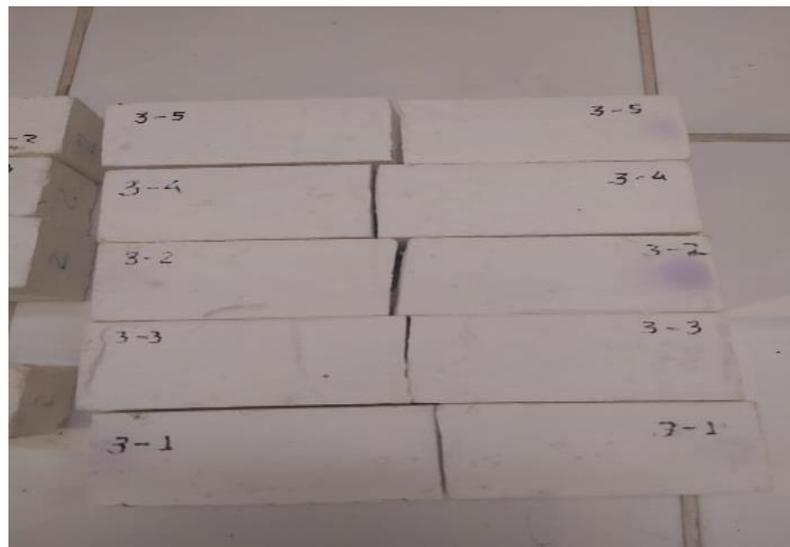
Probeta sobre los rodillos para ensayo a flexión



Nota: Laboratorio de Ingeniería Civil

Figura 52:

Muestra de las probetas rotas luego del ensayo a flexión



Toma de datos

Tabla 19:

Toma de datos en ensayo de resistencia a flexión para 150 °C

Laborat.: Laboratorio de Suelos y Concreto	Fecha : <u>25/07/23</u>
UNDAC	N° de muestra: <u>09</u>
Ubic. Yacimiento: Centro Poblado Rocco	Temp.Calcina.: <u>150°C</u>
MUESTRA	Ff
2-5	1280.00
2-6	883.00
2-7	1147.00
2-11	1280.00
2-12	1235.00
2-13	1190.00
2-14	1102.00
2-15	1280.00
2-16	927.00

Ff:. En Newtons

Tabla 20:

Toma de datos en ensayo de resistencia a flexión para 200 °C

Laborat.: Laboratorio de Suelos y Concreto	Fecha : <u>25/07/23</u>
UNDAC	N° de muestra: <u>09</u>
Ubic. Yacimiento: Centro Poblado Rocco	Temp.Calcina.: <u>200°C</u>
MUESTRA	Ff
3-1	1800.00
3-2	2014.00
3-3	1757.00
3-4	1971.00
3-5	2100.00
3-13	1800.00
3-14	2057.00
3-15	1714.00
3-16	1893.00

Ff:. En Newtons

3.7.2. Ensayo de resistencia a compresión

A) Equipos utilizados en la prueba

Equipos utilizados en el ensayo de resistencia a compresión

Figura 53:

Equipo Pinzuar para determinar resistencia a compresión



Figura 54:

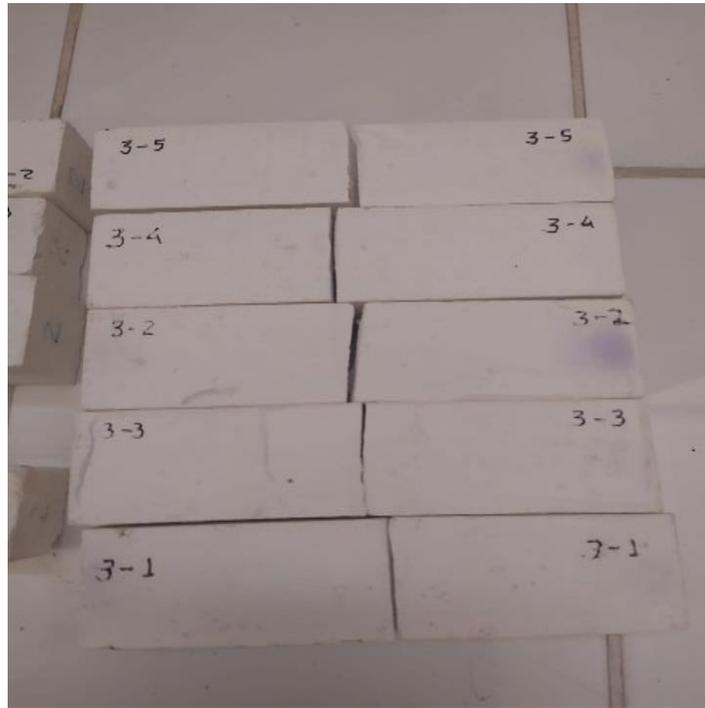
Vernier para efectuar mediciones de probetas



Fuente: Laboratorio de Ingeniería Civil

Figura 55:

Probetas rotas para la resistencia a compresión axial simple



Procedimiento

Utilizando el vernier se miden las secciones de los trozos rotos de las probetas del ensayo de resistencia a flexión, según norma se colocan con las caras laterales una hacia arriba y la otra hacia abajo, se aplica la carga hasta fracturar las piezas, se toma nota de la pantalla.

Figura 56:

Probeta en el interior de la máquina de compresión



Fuente: Laboratorio de Ingeniería Civil

Figura 57:

Resultado de la resistencia a la compresión de la muestra 3-2-a



Fuente: Laboratorio de Ingeniería Civil

Toma de datos

Tabla 21:

Toma de datos del ensayo de resistencia compresión axial simple (150°C)

LABORAT. Laboratorio de Suelos y Concreto		Fecha : <u>25/07/23</u>
UNDAC		N° muestra : <u>18</u>
Ubic. Yacimiento: Centro Poblado Rocco		Temp. Calcina.: <u>150°C</u>
MUESTRA	Fc	L (mm)
2-5 a	11840.00	40.00
2-5 b	11840.00	40.00
2-6 a	13210.00	38.00
2-6 b	12591.00	39.00
2-7 a	9057.00	39.50
2-7 b	8792.00	40.00
2-11 a	9278.00	40.00
2-11 b	11045.00	39.00
2-12 a	12812.00	39.00
2-12 b	12591.00	38.00
2-13 a	10603.00	40.00
2-13 b	10691.00	40.00
2-14 a	10382.00	39.00
2-14 b	10382.00	39.00
2-15 a	11691.00	39.00
2-15 b	11707.00	39.00
2-16 a	11884.00	40.00
2-16 b	11928.00	40.00

Tabla 22:

Toma de datos del ensayo de resistencia compresión axial simple (200°C)

Laborat. Laboratorio de Suelos y Concreto		Fecha : <u>25/07/23</u>
UNDAC		N° de muestra : <u>18</u>
Ubic. Yacimiento: Centro Poblado Rocco		Temp. Calcina.: <u>200°C</u>
MUESTRA	Fc	L (mm)
3-1 a	14560.00	40.00
3-1 b	14560.00	41.00
3-2 a	13586.00	40.00
3-2 b	13232.00	40.00
3-3 a	11285.00	39.50
3-3 b	12834.00	40.00
3-4 a	14604.00	41.00

3-4 b	16817.00	41.00
3-5 a	12834.00	40.00
3-5 b	12790.00	40.00
3-13 a	13498.00	39.00
3-13 b	13277.00	39.00
3-14 a	14262.00	40.00
3-14 b	14073.00	40.00
3-15 a	13055.00	39.00
3-15 b	13055.00	39.00
3-16 a	15268.00	40.00
3-16 b	15224.00	40.00

Fc.: En Newtons

3.7.3. Determinación de los tiempos de fraguado (método del cuchillo)

a) Equipos utilizados en la prueba

Equipos utilizados en el ensayo de determinación de tiempo de fraguado

Figura 58:

Placa de vidrio para preparar las galletas



Figura 59:
Recipientes para amasado



Figura 60:
Cronómetro para controlar tiempo de fraguado



Figura 61:
Balanza de precisión



Figura 62:

Espátula para los cortes en la galleta



b) Procedimiento

Se pesan cantidades de agua y yeso necesario según relación obtenido previamente para la relación agua/yeso de 0.57 para yeso calcinado a 150°C y 0.815 para yeso calcinado a 200°C.

El mezclado se hace con movimientos en forma de ocho hasta obtener una pasta homogénea, luego verter la pasta al vidrio formando galletas. El tiempo se controla desde el momento en que el yeso hace contacto con el agua, llamamos tiempo inicial (**ti**), luego se vierte la pasta homogénea sobre la placa de vidrio formando galletas entre 100 mm a 120 mm de diámetro y aproximadamente 5 mm de espesor.

Para determinar el tiempo de fraguado se realizan cortes en las galletas, limpiando la superficie de la espátula tras cada corte a intervalos de 5 segundos por corte, el tiempo de fraguado es cuando los labios de las hendiduras hechas por la espátula no se juntan, llamando (**tf**). Este mismo proceso se realizó para ambos yesos.

Figura 63:

Pesando agua y yeso para el ensayo del tiempo de fraguado



Figura 64:

Preparando la mezcla agua yeso para el tiempo de fraguado

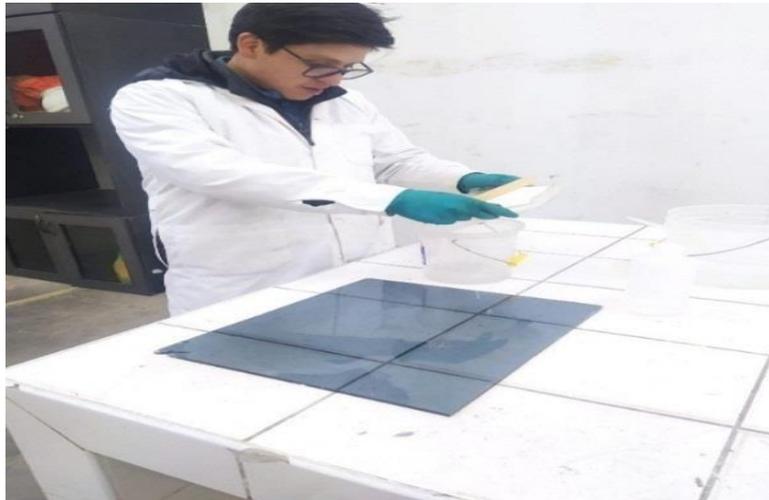
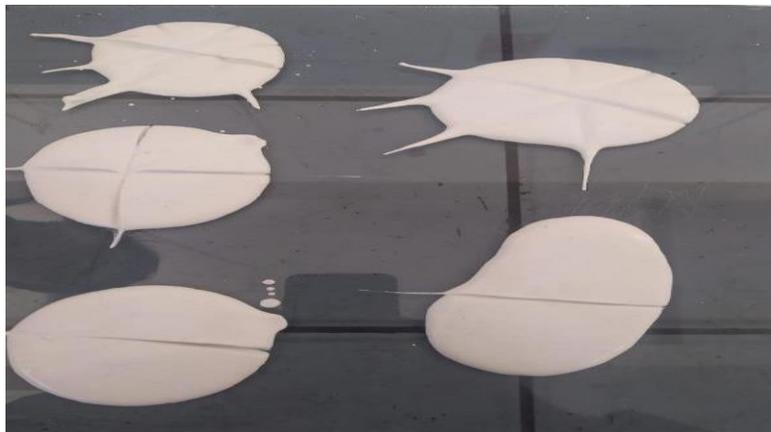


Figura 65:

Cortes hechas con la espátula a las galletas



En la galleta de forma arriñonada se observa claramente que los labios de la hendidura están separados.

c) Toma de datos

Tabla 23:

Toma de datos del ensayo de tiempo de fraguado (150°C)

Muestra	Tiempo Inicial (min)	TIEMPO		DIÁMETRO mm
		Minutos	Segundos	
2-1	0.0	10	45	100.00
2-2	0.0	14	30	120.00
2-3	0.0	8	40	110.00
2-4	0.0	10	50	114.00
2-5	0.0	12	40	118.00
2-6	0.0	15	50	125.00

Tabla 24:

Toma de datos del ensayo de tiempo de fraguado (200°C)

MUESTRA	Tiempo Inicial (min)	TIEMPO		DIÁMETRO mm
		Minutos	Segundos	
3-1	0.0	4	30	110.00
3-2	0.0	3	50	118.00
3-3	0.0	4	30	120.00
3-4	0.0	6	35	108.00
3-5	0.0	4	40	102.00
3-6	0.0	5	2	112.00

3.7.4. Periodo inicial de absorción

Es la cantidad de masa de agua capaz de absorber un material con respecto al material desecado.

a) Equipos utilizados en la prueba

Recipiente

Figura 66:
Recipiente para inmersión



Figura 67:
Horno mufla para secado de probetas a 40 °C



Nota: Laboratorio de metalurgia

Figura 68:
Recipientes para amasado



Figura 69:
Balanza de precisión



Nota: Laboratorio de metalurgia

Figura 70:
Cronómetro para controlar tiempo de inmersión



Figura 71:
Nivel de mano para nivelar la bandeja con agua



Figura 72:
Probeta saturada de agua



b) Procedimiento.

Se pesan todas las probetas debidamente codificadas para este ensayo, se llena de agua a las bandejas debidamente niveladas, altura de agua 7 centímetros en cada bandeja, se sumergen los especímenes por espacio de 2 horas; se secan cada probeta con una franela húmeda para eliminar el agua remanente de los poros abiertos; después de ésta, se vuelve a pesar cada una de ellas, se anota los nuevos pesos; en el presente estudio, se utilizó dos bandejas para cada temperatura de calcinación, una para 150°C y la otra para 200°C.

Figura 73:
Pesado de probetas para prueba de absorción



Figura 74:

Probetas seleccionadas para ensayo de absorción

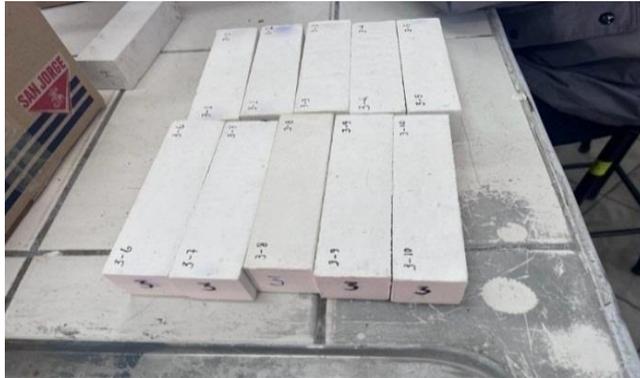


Figura 75:

Probetas sumergidas en las bandejas con agua



Asimismo, se tomó dos muestras para controlar el porcentaje de absorción versus tiempo con el objeto de demostrar la variación de la curva con respecto al tiempo., 2-10 y 3-10.

Figura 76:

Vertiendo agua a la bandeja para la inmersión de 2 probetas



Figura 77:

Nivelando la bandeja para llenar con agua



Figura 78:

Dos probetas sumergidas, 2-10 y 3-10



Figura 79:

Anotando peso de las probetas después del pesado



Figura 80:

Secado de probetas para pesar después de cada 10 segundos



Tabla 25:

Datos para la curva tiempo vs absorción

Temperat. de calcinación 150°C		Temperatura de calcinación 200°C	
Tiempo (seg)	%	Tiempo (seg)	% Absorción
0	0.0	0	0.0
10	14.5	10	22.4
20	22.1	20	33.9
30	26.4	30	40.0
40	29.1	40	43.2
50	30.7	50	45.0
60	31.9	60	45.9
70	32.7	70	46.6
80	33.2	80	47.0
90	33.6	90	47.4
100	33.8	100	47.6
110	33.8	110	47.6
120	33.8	120	47.7
130	33.9	130	47.8
140	34.1	140	47.8
150	34.1	150	47.9
160	33.9	160	48.0
170	33.9	170	48.0
180	34.0	180	48.0

En la curva para temperatura de calcinación de 150°C el mayor porcentaje de absorción es de 33.8% a los 100 segundos, porcentaje del volumen respecto al volumen de la probeta, posterior a ello la curva tiende a mantenerse horizontal indicando que la muestra ya se saturó de agua; del mismo modo para la de 200°C el porcentaje de absorción es de 46.6% en 70 segundos; esto nos muestra que a mayor temperatura de calcinación el producto es más compacto; es decir, menor cantidad de poros.

Figura 81:
Curva para temperatura de 150°C

ABSORCIÓN DE AGUA

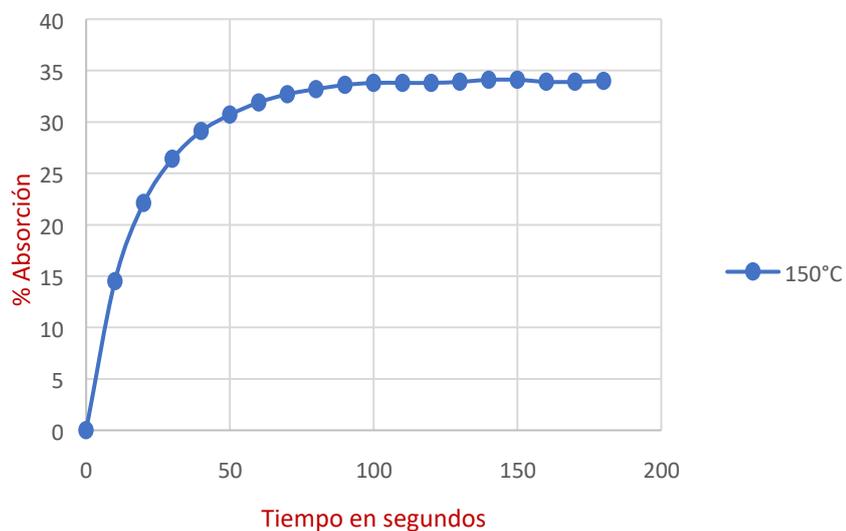
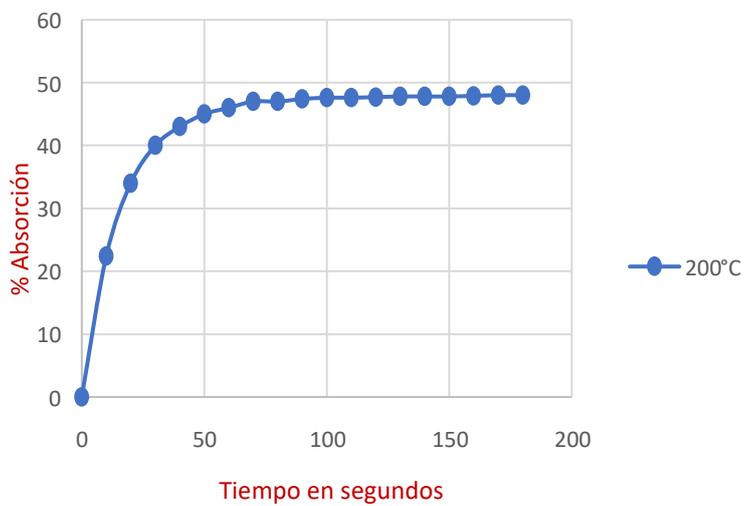


Figura 82:
Curva para temperatura de 200°C

ABSORCIÓN DE AGUA



c) Toma de datos

Tabla 26:

Toma de datos para ensayo de absorción 150 °C

Muestra	Ancho (mm)	Largo (mm)	Wi (g)	Wf (g)
2-1	41.00	149.00	234.9	338.8
2-2	40.00	158.00	214.3	307.4
2-3	40.00	155.00	203.3	298.1
2-4	39.00	156.00	217.6	315.1
2-8	40.00	155.00	217.9	311.0
2-9	40.00	149.00	216.1	285.0
2-17	38.80	154.00	220.3	303.0
2-18	39.50	157.00	218.3	299.7

Wf : Peso final después del contacto con agua, en g

Wi : Peso inicial seco, en g

Tabla 27:

Toma de datos para ensayo de absorción 200 °C

Muestra	Ancho (mm)	Largo (mm)	Wi (g)	Wf (g)
3-6	40.00	159.00	206.6	346.2
3-7	40.00	160.00	197.9	345.4
3-8	40.00	155.00	203.8	343.3
3-9	40.00	160.00	220.5	367.3
3-11	38.00	161.00	188.2	329.7
3-12	40.00	160.00	228.6	356.7
3-17	40.00	158.00	215.3	329.6
3-18	39.00	160.00	211.2	344.8

Wf : Peso final después del contacto con agua, en g

Wi: Peso inicial seco, en g

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

El procesamiento y análisis de datos consiste en la recolección de datos para transformarlos en información entendible como gráficas, tablas, documentos, etc.

El trabajo cumplirá con los siguientes elementos y pasos para obtener los resultados que serán interpretados a fin de determinar las conclusiones y recomendaciones de la tesis.

Una vez recolectados los datos, serán tabulados y limpiados de vicios. Seleccionamos el SPSS como explorador de datos, obtenidos con instrumentos sometidos previamente a pruebas de fiabilidad y validez. Los resultados serán analizados estadísticamente, para observar la contrastación de hipótesis, los mismos que se presentarán en tablas, figuras y otros para su respectiva interpretación metodológica y temática.

3.9. Tratamiento estadístico

3.9.1. Resistencia a flexión

a) *Resistencia a flexión calcinado a 150°C*

- **Procesamiento de las pruebas**

Para determinar los valores de la resistencia a flexión se aplica la ecuación:

$$\mathbf{Rf = 0.00234 \times Ppromedio \dots\dots (13)}$$

Donde:

Rf = resistencia a flexión en N/mm²

P = es la carga media de rotura en N

Al observar gran variación en los datos de carga máxima recolectados en laboratorio se optó por descartar valores utilizando el método de la desviación estándar; caracterizado por la siguiente fórmula:

$$Ds = \sqrt{\frac{\sum (Xi - X)^2}{n-1}} \dots\dots\dots (14)$$

Donde:

Ds = Desviación estándar

Xi = Valor de la resistencia a compresión en N/mm²

X = Valor promedio de la resistencia a flexión de las probetas en N/mm²

n = número de probetas ensayadas

Tabla 28:

Selección de datos con desviación estándar para resistencia a flexión, yeso calcinado a 150°C

Muestra	Xi = P(N)	Media X	Xi - X	(Xi-X)²	S	Eval.
2-5	1280.00		132.89	17659.75		OK
2-6	883.00		-264.11	69754.09		Desc.
2-7	1147.00	1147.11	-0.11	0.012	151.15	OK
2-11	1280.00		132.89	17659.75		OK
2-12	1235.00		87.89	7724.65		OK
2-13	1190.00		42.89	1839.55		OK
2-14	1102.00		-45.11	2034.91		OK
2-15	1280.00		132.89	17659.75		Desc.
2-16	927.00		-220.11	48448.41		Desc.
Promedio	10324.00			182780.87		

Tabla 29:

Cálculo de resistencia a flexión, yeso calcinado a 150°C con datos aprobados

Muestra	P (N)	P(kg/cm²)
2-5	1280.00	30.54
2-7	1147.00	27.37
2-11	1280.00	30.54
2-12	1235.00	29.46
2-13	1190.00	28.39
2-14	1102.00	26.29
Promedio	1205.67	28.76

P: es la carga de rotura en N

Rf: es la resistencia a flexión

Para hallar la resistencia a flexión aplicamos la ecuación anterior:

$$Rf = 0.00234 \times 1205.67 \text{ N}$$

$$Rf = 2.82 \text{ N/mm}^2$$

Gráfico de barras

Figura 83:

Variación de resistencia a flexión de yeso calcinado a 150°C



b) Análisis de la prueba

Con los resultados obtenidos de la resistencia a flexión con las probetas calcinadas a 150°C; se observa que las muestras 2-6, 2-15 y 2-16 son superiores al valor obtenido por el método de desviación

estándar; por tanto, se descarta y en las 6 muestras restantes se observa:

- La muestra 2-14 tiene una resistencia mínima de 26.29 kg/cm².
- Las muestras 2-5 y 2-11 tienen una resistencia máxima de 30.54 kg/cm².

Para (Sánchez, 2003) el valor referencial para yesos con relación agua yeso entre 06 -1.0 es de 20 Kg/cm²; y el valor promedio obtenido es 28.4 kg/cm² con relación agua yeso obtenido de 0.57, superior al valor referencial para resistencia a flexión.

c) Resistencia a flexión de yeso calcinado a 200°C

- **Procesamiento de las pruebas**

Los cálculos son los mismos que en el ítem 3.7.1.1

Tabla 30:

Variación de resistencia a flexión de yeso calcinado a 150°C

Muestra	Xi = P(N)	Media X	Xi - X	(Xi-X) ²	S	Eval.
3-1	1800.00		-95.00	9025.00		OK
3-2	2014.00		119.00	14161.00		OK
3-3	1757.00	1895.00	-38.00	19044.00		OK
					141.76	
3-4	1971.00		76.00	5776.00		OK
3-5	2100.00		205.00	42025.00		Descarta
3-13	1800.00		-95.00	9025.00		OK
3-14	2057.00		162.00	26244.00		Descarta
3-15	1714.00		-181.00	32761.00		Descarta
3-16	1843.00		-52.00	2704.00		OK
Promed.	1895.00	Sumatoria		160765.00		

Tabla 31:

Cálculo de resistencia a flexión de yeso calcinado a 200 °C con datos aprobados

Muestra	P (N)	P(Kg/cm²)
3-1	1800.00	42.95
3-2	2014.00	48.05
3-3	1757.00	48.35 41.92
3-4	1971.00	42.95
3-13	1800.00	43.97
3-16	1843.00	
Promedio	1864.17	46.68

Para hallar la resistencia a flexión aplicamos la ecuación anterior:

$$R_f = 0.00234 \times 1864.17 \text{ N}$$

$$R_f = 4.36 \text{ N/mm}^2$$

- **Gráfico de barras**

Figura 84:

Variación de resistencia a flexión del yeso calcinado a 200°C por unidad de muestreo



- **Análisis de la prueba**

Según los resultados del ensayo de resistencia a flexión de las probetas elaborados con yeso calcinado a 200°C y después de descartar 03 valores extremos con el método de desviación estándar, en los 06 datos restantes se observa:

- Que la resistencia mínima es de 41.92 kg/cm² en la probeta ensayada 3-4.
- La resistencia máxima de 48.35 kg/cm² en la probeta ensayada 3-3, superior a la probeta 3-4.
- Para (Sánchez, 2003) el valor referencial para yesos con relación agua/ yeso entre 06 -1.0 es de 20 kg/cm²; y el valor promedio obtenido es 45.14 kg/cm² con relación agua yeso obtenido de 0.815, superior al valor referencial para resistencia a flexión.
- Este valor promedio de resistencia a flexión es mayor al del yeso calcinado a 150°C.

3.9.2. Resistencia a compresión

a) *Resistencia a compresión axial simple de yeso calcinado a 150°C*

- *Procesamiento de las pruebas*

Para el cálculo de la resistencia a compresión de las unidades prismáticas se usó la siguiente fórmula:

$$R_c = \frac{F_c}{\text{Área}} \dots\dots\dots(15)$$

Donde:

F_c: máxima carga en la rotura en N

R_c: resistencia a compresión

Al observar gran variación en los datos de carga máxima recolectados en laboratorio se optó por descartar valores utilizando el método de la desviación estándar; caracterizado por la siguiente fórmula:

$$D_s = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \dots \dots \dots (16)$$

Donde:

Ds: desviación estándar

Xi: resistencia a compresión en N/mm²

X: valor promedio de resistencia a compresión en N/mm²

n: número de probetas ensayadas.

Tabla 32:

Selección de datos con desviación estándar para resistencia a compresión axial simple, yeso calcinado a 150°C

Mues t	Xi = Fc (N)	Media X	Xi -X	(Xi -X)²	S	Eval.
2-5 a	11840.00		603.78	364550.28		OK
2-5 b	11840.00		603.78	364550.28		OK
2-6 a	13210.00		1973.78	3895807.40		Descarta
2-6 b	12591.00		1354.78	1835428.80		Descarta
2-7 a	9057.00		-2179.22	4748999.80		Descarta
2-7 b	8792.00	11236.22	-2444.22	5974211.40	1300.32	Descarta
2-11 a	9278.00		-1958.22	3834625.50		Descarta
2-11 b	11045.00		-191.22	36565.09		OK
2-12 a	12812.00		1575.78	2483082.60		Descarta

2-12 b	12591.00	1354.78	1835428.80	Descarta
2-13 a	10603.00	-633.22	400967.56	OK
2-13 b	10691.00	-545.22	297264.84	OK
2-14 a	10382.00	-854.22	729691.80	OK
2-14 b	10382.00	-854.22	729691.80	OK
2-15 a	11619.00	382.78	146520.52	OK
<hr/>				
2-15 b	11707.00	410.78	168740.20	OK
2-16 a	11884.00	647.78	419618.92	OK
2-16 b	11928.00	691.78	478559.56	OK
<hr/>				
Prom.	11236.22	Σ	28744305.2	
<hr/>				

Tabla 33:

Cálculo de resistencia a compresión, calcinado a 150 °C con datos aprobados

Muestra	Fc (N)	L (mm)	LxL (mm²)	Rc (N/mm²)	Rc (kg/cm²)
2-5 a	11840.00	40.00	1600.00	7.40	75.46
2-5 b	11840.00	40.00	1600.00	7.40	75.46
2-11 b	11045.00	39.60	1568.16	7.04	71.79
2-13 a	10603.00	40.00	1600.00	6.63	70.36
2-13 b	10691.00	41.00	1681.00	6.34	67.61
2-14 a	10382.00	40.00	1600.00	6.49	66.18
2-14 b	10382.00	40.00	1600.00	6.49	66.18
2-15 a	11619.00	40.00	1600.00	7.26	74.03
2-15 b	11707.00	40.00	1600.00	7.32	74.64
2-16 a	11884.00	41.00	1681.00	7.07	72.09
2-16 b	11928.00	40.00	1600.00	7.46	76.07
Promedio				6.99	71.81

Según la tabla 33, la resistencia a compresión axial simple para 150°C es:

$$R_c = 6.99 \text{ N/mm}^2;$$

$$R_c = 71.81 \text{ kg/cm}^2$$

- **Gráfico de barras**

Figura 85:

Variación de la resistencia a compresión del yeso 150°C por unidad de muestreo



- **Análisis de la prueba**

Con los resultados del ensayo de resistencia a compresión axial simple de las probetas elaboradas con yeso calcinado a 150°C y después de descartar 07 valores extremos con el método de desviación estándar, en los 11 datos restantes se observa:

- Que la resistencia mínima es de 66.18 kg/cm² en dos probetas ensayadas, en las probetas 2-14 a y 2-14 b, respectivamente

- La resistencia máxima de 76.07 kg/cm² en la probeta ensayada 2-16 b.
- Para (Sánchez, 2003) el valor referencial para yesos con relación agua/yeso entre 06 -1.0 para resistencia a compresión axial simple es 90 kg/cm² y el valor promedio obtenido es 71.13 kg/cm² con relación agua/yeso obtenido de 0.57, inferior al valor referencial.

b) Resistencia a compresión axial simple de yeso calcinado a 200°C

- **Procesamiento de las pruebas**

Los cálculos realizados son los mismos que el ítem 3.7.2.1.

Tabla 34:

Selección de datos con desviación estándar para resistencia a compresión de yeso calcinado a 200°C

Muestra (N)	Xi = P	Media X	Xi - X	(Xi - X) ²	S	Evaluación
3-1 a	14560.00	743.11	743.11	552212.47		OK
3-1 b	14560.00	743.11	743.11	552212.47		OK
3-2 a	13586.00	-230.89	-230.89	53310.19		OK
3-2 b	13232.00	-584.89	-584.89	342096.31		OK
3-3 a	11285.00	-2531.89	-2531.89	6410466.90		Descarta
3-3 b	12834.00	-982.89	-982.89	966072.75		OK
3-4 a	14604.00	13816.89	787.11	619542.15	1244.8	OK
3-4 b	16817.00	3000.11	3000.11	9000660.00		Descarta
3-5 a	12834.00	-982.89	-982.89	966072.75		OK
3-5 b	12790.00	-1026.89	-1026.89	1054503.00		OK
3-13 a	13498.00	-318.89	-318.89	101690.83		OK
3-13 b	13277.00	-539.89	-539.89	291481.21		OK
3-14 a	14162.00	345.11	345.11	119100.91		OK
3-14 b	14073.00	256.11	256.11	65592.33		OK
3-15 a	13055.00	-761.89	-761.89	580476.37		OK

3-15 b	13055.00	-761.89	580476.37	OK
3-16 a	15268.00	1451.11	2105720.20	Descarta
13-16 b	15224.00	1407.11	1979958.50	Descarta
Promedio	13816.89		26341645.71	

Σ

Tabla 35:

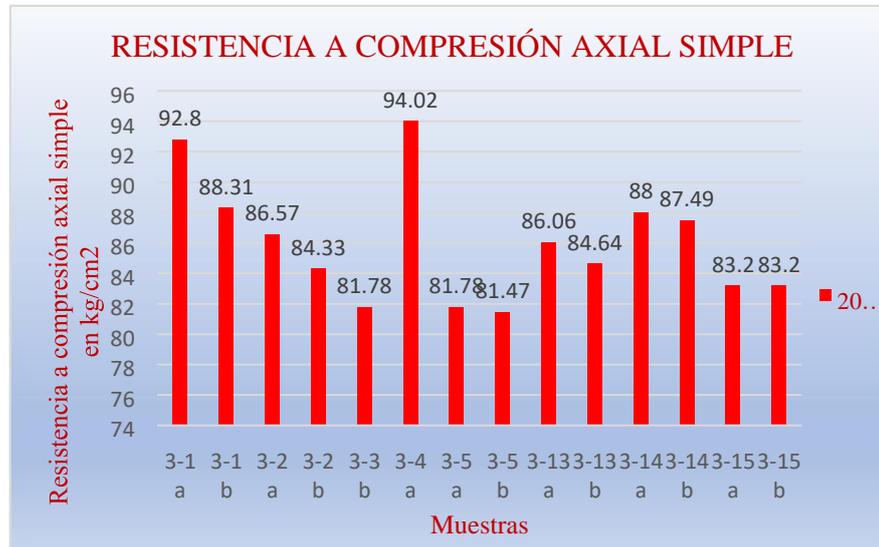
Cálculo de resistencia a compresión, calcinado a 200 °C con datos aprobados

Muestra	Fc (N)	L (mm)	LxL (mm²)	Rc (N/mm²)	Rc (kg/cm²)
3-1 a	14560.00	40.00	1600.00	9.10	92.80
3-1 b	14560.00	41.00	1681.00	8.66	88.31
3-2 a	13586.00	40.00	1600.00	8.49	86.57
3-2 b	13232.00	40.00	1600.00	8.27	84.33
3-3 b	12834.00	40.00	1600.00	8.02	81.78
3-4 a	14604.00	39.80	1584.04	9.22	94.02
3-5 a	12834.00	40.00	1600.00	8.02	81.78
3-5 b	12790.00	40.00	1600.00	7.99	81.47
3-13 a	13498.00	40.00	1600.00	8.44	86.06
3-13 b	13277.00	40.00	1600.00	8.30	84.64
3-14 a	14162.00	40.50	1640.25	8.63	88.00
3-14 b	14073.00	40.50	1640.25	8.58	87.49
3-15 a	13055.00	40.00	1600.00	8.16	83.20
3-15 b	13055.00	40.00	1600.00	8.16	83.20
Promedio				8.43	85.42

- **Gráfico de barras**

Figura 86:

Variación de la resistencia a compresión del yeso 200°C por unidad de muestreo



- **Análisis de la prueba**

Con los resultados del ensayo de resistencia a compresión axial simple de las probetas elaboradas con yeso calcinado a 200°C, después de descartar 04 valores extremos obtenidos con el método de desviación estándar, en los 14 datos restantes se observa:

- La resistencia mínima es de 81.47 kg/cm² en la probeta ensayada 3-5 b
- La resistencia máxima es de 94.02 kg/cm² en la probeta ensayada 3-4 a
- Para (Sánchez, 2003) el valor referencial para yesos con relación agua/yeso entre 06 -1.0 para resistencia a compresión axial simple es 90 kg/cm² y el valor promedio

obtenido es 87.75 kg/cm² con relación agua/yeso obtenido de 0.815 ligeramente inferior al valor referencial.

3.9.3. Determinación de los tiempos de fraguado (método del cuchillo)

a) Tiempo de fraguado para yeso calcinado a 150°C

- **Procesamiento o cálculos de la prueba**

Para determinar el tiempo de fraguado se aplicó la siguiente fórmula:

$$\mathbf{Tfr = tf - ti \dots\dots\dots (17)}$$

Donde:

Tfr = Tiempo de principio de fraguado en min

t0 = Es el momento en que se pone el yeso en contacto con el agua, en min

tf = Es el tiempo en que los labios de la hendidura realizada sobre el yeso con el cuchillo dejan de acercarse, en min.

Tabla 36:

Datos del tiempo de fraguado para yeso calcinado a 150°C

MUESTRA	Ti (min)	Tf (min)	Tf (seg)	Tfr (min)
01	0.0	10	45	10.45
02	0.0	14	30	14.30
03	0.0	8	40	8.40
04	0.0	10	50	10.50
05	0.0	12	40	12.40
06	0.0	15	50	15.50

Aplicamos el método de desviación estándar:

$$\mathbf{Ds = \sqrt{\frac{\sum(Xi - X)^2}{n - 1}}}$$

Tabla 37:

Selección de resultados tiempo de fraguado de yeso calcinado a 150°C

Muestra	Xi (min)	Media X	Xi-X	(Xi-X) ²		Eval.	Tfr
2-1	10.45		- 1.48	2.19		OK	10.45
2-2	14.30		2.37	5.62		OK	14.30
2-3	8.40	11.93	-3.53	12.46	2.66	Descarta	8.40
2-4	10.50		-1.43	2.04		OK	10.50
2-5	12.40		0.47	0.22		OK	12.40
2-6	15.50		3.57	12.74		Descarta	15.50
Promedio	11.93	Σ		35.27	Tfr promedio		20.88

Tabla 38:

Datos tiempo de fraguado yeso calcinado a 150 °C

Muestra	Tfr
2-1	10.45
2-2	14.30
2-4	10.50
2-5	12.40

- **Gráfico de barras**

Figura 87:

Variación tiempo de fraguado del yeso calcinado a 150°C por unidad de muestreo



- **Análisis de la prueba**

Con los resultados del ensayo tiempo de fraguado con yeso calcinado a 150°C se observa que todas las muestras exceden el tiempo de fraguado recomendado; datos obtenidos con el método de desviación estándar.

- El tiempo de fraguado mínimo es de 10 minutos 45 segundos en la muestra 2-1.
- El tiempo de fraguado máximo es de 14 minutos 30 segundos.
- Para (García, 1988) el valor referencial para yesos de construcción es de 8 minutos como tiempo máximo de principio de fraguado y el valor promedio obtenido es 12 minutos 38 segundos con relación agua/yeso obtenido de 0.57; es decir, superior al valor referencial. Este resultado puede mejorar con mayor tiempo en el horno; pero resultaría más costoso.

b) Tiempo de fraguado para yeso calcinado a 200°C

- **Procesamiento o cálculos de la prueba**

Los cálculos son los mismos que para la calcinación de 150°C

Tabla 39:

Datos del tiempo de fraguado para yeso calcinado a 200°C

MUESTRA	ti (min)	tf (min)	tf (seg)	Tfr (min)
3-1	0.0	4.0	30	4.30
3-2	0.0	3.0	50	3.50
3-3	0.0	4.0	30	4.30
3-4	0.0	6.0	35	6.35
3-5	0.0	4.0	40	4.40
3-6	0.0	5.0	25	5.25

En seguida se aplicó el método de desviación estándar:

Tabla 40:

Selección de resultados del yeso calcinado a 200°C

Muestra	Xi (min)	X media	Xi-X	(Xi-X) ²	S	EVAL.	Tfr
3-1	4.30		-0.38	0.14		OK	4.30
3-2	3.50		-1.18	1.39		DESCAR	
3-3	4.30	4.68	-0.38	0.14	0.97	OK	4.30
3-4	6.35		1.67	2.79		DESCAR	
3-5	4.40		-0.28	0.08		OK	4.40
3-6	5.25		0.57	0.32		OK	5.25
Promedio	4.68	Promedio		4.86		Tfr Promedio	4.56

Tabla 41:

Datos tiempo de fraguado yeso calcinado a 200 °C

Muestra	Tfr
3-1	4.30
3-3	4.30
3-5	4.40
3-6	5.25

- **Gráfico de barras**

Figura 88:

Variación tiempo de fraguado del yeso calcinado a 200°C por unidad de muestreo



- **Análisis de la prueba**

Con los resultados del ensayo tiempo de fraguado con yeso calcinado a 200°C: se descartó 02 valores extremos obtenidos con el método de desviación estándar, en los 04 datos restantes se observa:

- El tiempo de fraguado mínimo es de 4 minutos 30 segundos en las muestras 3-1 y 3-3.
- El tiempo de fraguado máximo es de 5 minutos 25 segundos en la muestra 3-6.
- Para (García, 1988) el valor referencial para yesos de construcción es de 8 minutos como tiempo máximo de principio de fraguado y el valor promedio obtenido es 4 minutos 37 segundos con relación agua/yeso obtenido de 0.815; es decir, inferior al valor referencial; lo cual indica que el tiempo de fraguado es muy corto no tiene

oportunidad para trabajar el personal que ejecuta la obra,
ligeramente superior al yeso de 150°C.

3.9.4. Determinación del periodo inicial de absorción

a) *Periodo inicial de absorción para yeso calcinado a 150°C*

- **Procesamiento o cálculos del experimento**

Para calcular del período inicial de absorción de las probetas prismáticas se usó la siguiente fórmula:

$$W = W_f - W_i \dots\dots\dots (18)$$

Donde:

W = Peso de agua absorbida por la probeta en el tiempo de contacto con agua, en gr/min/cm²

W_i = Peso inicial de la probeta seco, en g

W_f = Peso final de la probeta después del contacto con agua, en g. Cuando el área, largo por ancho no difiera más de ± 2.5% de 64 cm², se reportó la cantidad de agua absorbida con una aproximación de 0.1gr. Si ésta, difiera más de ± 2.5% de 64 cm², se realiza correcciones a los valores obtenidos en laboratorio con la fórmula siguiente:

$$X = \frac{64 W}{L \times A} \dots\dots\dots (19)$$

Donde:

X = Diferencia de pesos corregida sobre la base de 64 cm²

W = Diferencia de pesos de la probeta (gr)

L = Longitud de la probeta (cm)

A = Ancho de la probeta (cm).

Tabla 42:

Datos del tiempo inicial de absorción para yeso calcinado a 150°C

Muestra	Ancho mm	Largo mm	Área mm ²	Eval. Área	Wi (g)	Wf (g)	Absorción g/min/64cm ²
2-1	41.00	149.00	6109.00	OK	234.1	328.8	94.7
2-2	40.00	158.60	6344.00	OK	223.4	307.4	84.0
2-3	40.00	155.00	6200.00	OK	213.3	298.1	84.8
2-4	39.50	156.00	6162.00	OK	217.6	315.1	97.5
2-8	40.00	155.00	6200.00	OK	217.9	311.0	93.1
2-9	40.00	149.00	5960.00	OK	216.1	285.3	69.2
2-17	38.80	154.00	5975.00	OK	220.3	303.0	82.7
2-18	39.50	157.00	6202.00	OK	218.3	299.7	81.4

Aplicando el método de desviación estándar, como en los casos

anteriores según la fórmula enunciada, se tiene los siguientes resultados.

Tabla 43:

Selección de resultados del yeso calcinado a 150°C

Muestra	Xi (g)	X	Xi - X	(Xi-X) ²	S	Eval.	Absorción g/min/64cm ²
		Media					
2-1	94.7		8.77	79.91		OK	94.7
2-2	84.0		- 1.93	3.72		OK	84.0
2-3	84.8	85.93	-1.13	1.28	9.11	OK	84.8
2-4	97.5		11.57	133.86			
Desc. 2-8	93.1	7.17	51.41	OK	93.1	2-9	69.2
						- 16.73	279.89. Desc.
2-17	82.7		-3.23			OK	82.7
2-18	81.4		-4.53	20.52		OK	81.4
Promed.	85.93		Σ	581.02			86.78

Tabla 44:

Datos tiempo inicial de absorción yeso calcinado a 150 °C

Muestra	Absorción
2-1	94.7
2-2	84.0
2-3	84.8
2-8	93.1
2-17	82.7
2-18	81.4
Promedio	86.78

- **Gráfico de barras**

Figura 89:

Agua absorbida de probetas con yeso calcinado a 150°C



- **Análisis de la prueba**

De los resultados del ensayo de absorción de las probetas preparadas con yeso calcinado a 150°C se descartó 02 valores extremos con el método de desviación estándar, en los 06 restantes observamos:

- La absorción mínima presenta la muestra 2-18 con 81.4 g/min/64cm²
- La absorción máxima es de 94.7 g/min/64 cm² en la muestra 2-1
- El valor promedio de absorción es de 88.05 g/min/cm²

b) Periodo inicial de absorción para yeso calcinado a 200°C

- **Procesamiento o cálculos del experimento**

Los cálculos son los mismos que se realizaron para yeso calcinado a 150°C.

Tabla 45:

Datos del tiempo inicial de absorción para yeso calcinado a 200°C

Muestra	Ancho	Largo	Área	Eval.	Wi	Wf	Absorción g/min/64cm²
3-6	40.0	159.0	6360.0	OK	206.6	346.2	139.6
3-7	40.0	160.0	6400.0	OK	197.9	345.4	147.5
3-8	40.0	155.0	6200.0	OK	203.8	343.3	139.5
3-9	40.0	160.0	6400.0	OK	220.5	367.3	146.8
3-11	38.0	161.0	6118.0	OK	188.2	329.7	141.5
3-12	40.0	160.0	6400.0	OK	228.6	356.7	128.1
3-17	40.0	158.0	6320.0	OK	215.3	329.6	114.3
3-18	39.0	160.0	6240.0	OK	211.2	344.8	133.6

Aplicando el método de desviación estándar, como en el caso anterior se tiene la siguiente tabla.

Tabla 46:*Selección de resultados obtenidos del yeso calcinado a 200°C*

Muestra	Xi (g)	X	Xi - X	(Xi-X) ²	S	Eval.	Absorción g/min/64cm ²
3-6	139.6		3.2	10.24		OK	139.6
3-7	147.5		11.1	123.21			
3-8	139.5	136.4	3.1	9.61			
3-9	146.8		10.4	108.16			
3-11	141.5				2		
			.1	6.01			
			-8.3	68.89			
			-22.1	488.41			
3-18	133.6		-2.8	7.84		OK Desca	
					10.97	OK	139.5
						OK	146.8
						OK	141.5
3-12	128.1					OK	128.1
3-17	114.3					Desca	133.6
Promed.	136.4		Σ	842.37			138.2

Tabla 47:*Datos tiempo inicial de absorción yeso calcinado a 200 °C*

Muestra	Absorción
3-6	139.6
3-8	139.5
3-9	146.8
3-11	141.5
3-12	128.1
3-18	133.6
Promedio	138.2

Figura 90:

Agua absorbida de probetas con yeso calcinado a 200°C



- **Análisis de la prueba**

De los resultados del ensayo de absorción de las probetas preparadas con yeso calcinado a 200°C se descartó 02 valores extremos con el método de desviación estándar, en los 06 restantes observamos:

- La absorción mínima es 128.1 g/min/64 cm² en la probeta 3-12
- La absorción máxima es 146.8 g/min/64 cm² en la muestra 3-9
- El valor promedio de absorción es de 137.45g/min/64cm².

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

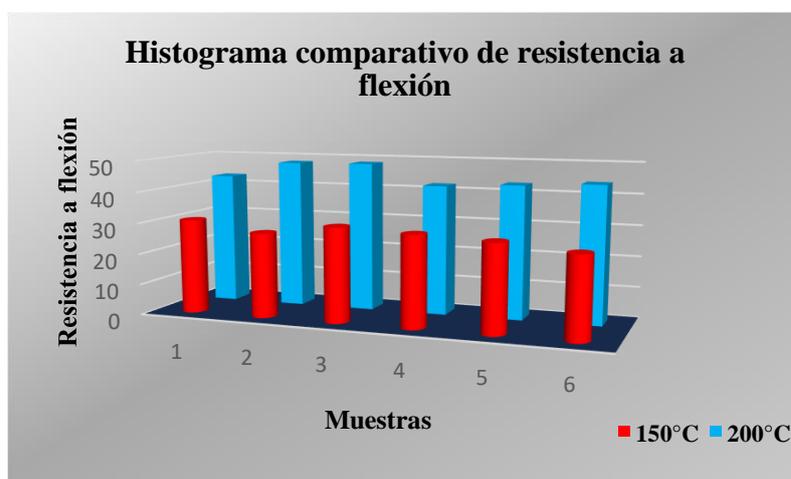
Se exponen los resultados finales con gráficos comparativos sobre las características físicas y mecánicas del yacimiento centro poblado menor de Rocco calcinados a temperaturas, 150 °C y 200 °C, respectivamente.

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultado

4.2.1. Resultados de la resistencia a flexión

Figura 91:

Resultados de la resistencia a flexión

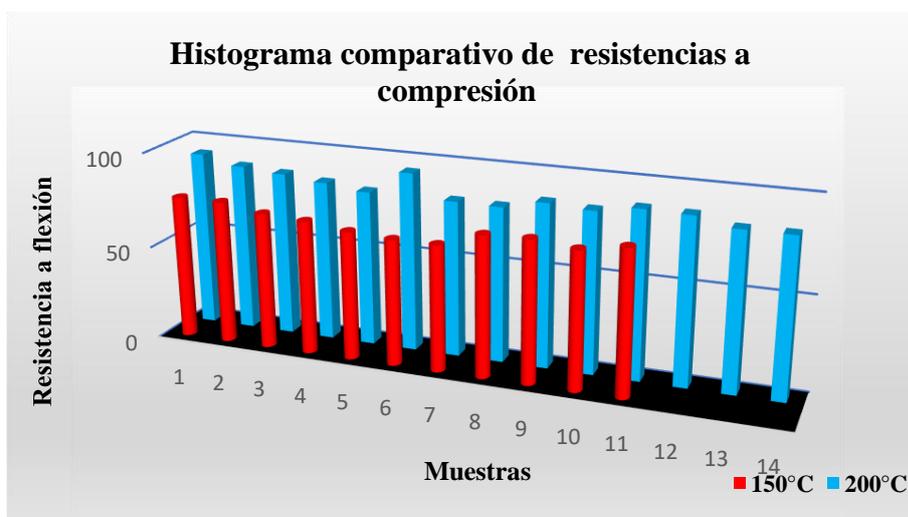


La figura nos muestra que, yeso calcinado a 150°C es más frágil que la del calcinado a 200°C, por tener mayor porosidad tanto abiertos como cerrados, la que contrastará con el ensayo de absorción.

4.2.2. Resultado de la resistencia a compresión axial simple

Figura 92:

Resultados de la resistencia a compresión axial simple 27



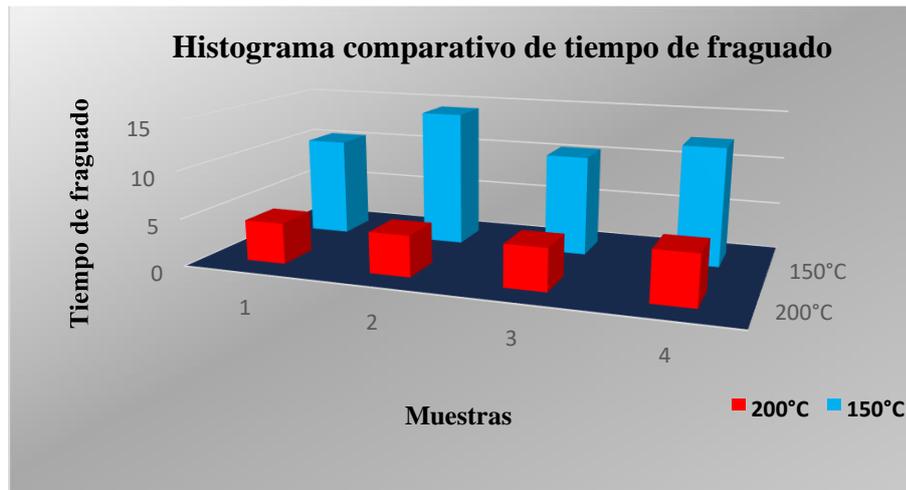
En la figura se observa que los yesos calcinados con temperaturas de 150 y 200°C, soportan casi la misma fuerza de compresión, con la diferencia que los calcinados a 200°C fueron 04 probetas descartados mientras que en la de 150°C se descartaron 07 muestras por representar los extremos seleccionados con el método de desviación estándar.

4.2.3. Resultado de los tiempos de fraguado

En la figura 93 se muestra que el tiempo de fraguado para yeso calcinado a 150°C es demasiado prolongado con relación al yeso calcinado a 200°C; esto nos sugiere que la de 200°C es recomendable por el tiempo de fraguado. Asimismo, para mejorar el fraguado del yeso calcinado a 150°C se debe mantener

a la misma temperatura en mayor tiempo; pero, esto elevaría su costo de producción.

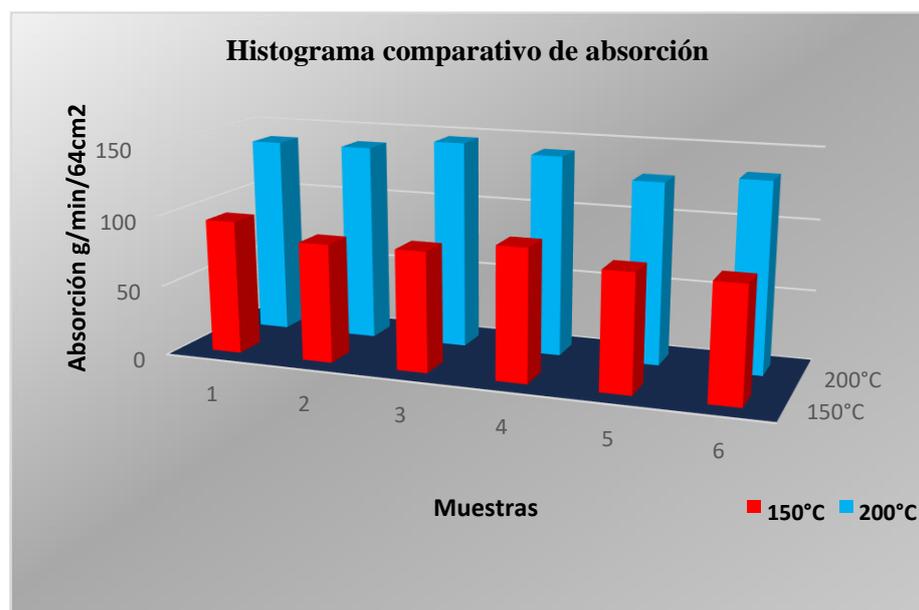
Figura 93:
Resultados de los tiempos de fraguado



4.2.4. Resultado del período inicial de absorción

Resultados del periodo inicial de absorción

Figura 94:
Resultados del periodo inicial de absorción



4.3. Prueba de hipótesis

Los cambios de temperatura de calcinación influyen en la determinación de las propiedades físicas y mecánicas del yeso proveniente del centro poblado menor de Rocco

Método

μ_1 : media de T° Calc. 150° μ_2 : media de T° Calc. 200°

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

Se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
T° Calc. 150°	18	11236	1302	307
T° Calc. 200°	18	13817	1245	293

Estimación de la diferencia

Diferencia	Desv.Est. agrupada	IC de 95% para la diferencia
-2581	1273	(-3444; -1719)

Prueba

Hipótesis nula:

$$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$$

Hipótesis alterna:

$$H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$$

Valor T	Valor GL	Valor p
-6.08	34	0.000

↓	C1	C2	C3	C4
	T° Calc. 150°	T° Calc. 200°		
1	11840	14560		
2	11840	14560		
3	13210	13586		
4	12591	13232		
5	9057	11285		
6	8792	12834		
7	9278	14604		
8	11045	16817		
9	12812	12834		
10	12591	12790		
11	10603	13498		
12	10691	13277		
13	10382	14162		
14	10382	14073		
15	11619	13055		
16	11707	13055		
17	11884	15268		
18	11928	15224		

Figura 95:
Gráfica de caja T° Calc. 150°; T Calc. 200°

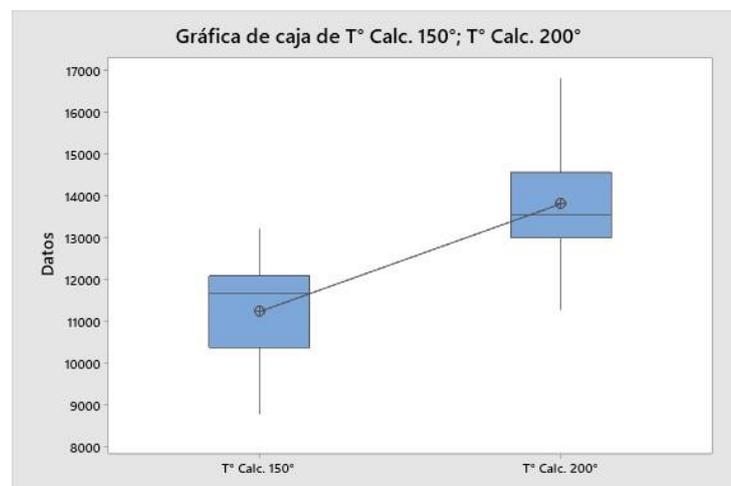
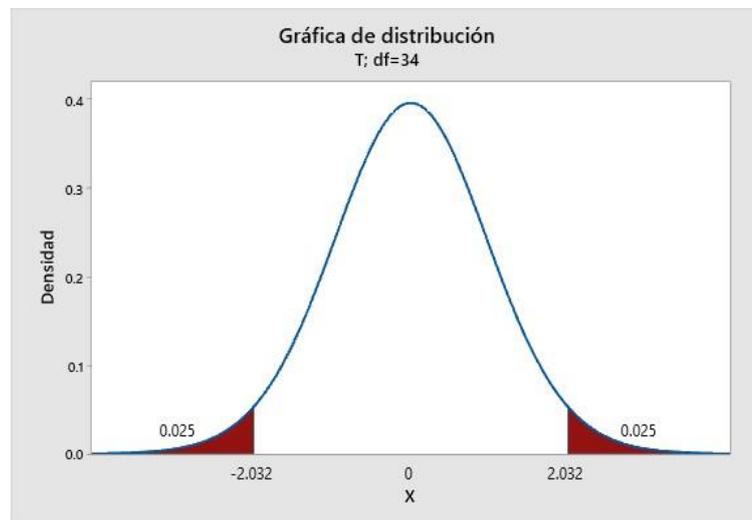


Figura 96:
Gráfica de distribución



$$T_c = -6.08 > T_t = -2.032$$

Conclusión:

Los cambios de temperatura influyen en las propiedades físicas y mecánicas del yeso proveniente del centro poblado menor de Rocco, con un nivel de significancia del 95%.

4.4. Discusión de resultados

- 1) Muchas bibliografías consultadas sobre investigaciones realizadas sobre el yeso o aljez, se refieren a yacimientos en actual producción, como el caso de Cusco, hace referencia de la cantera Orlando, donde no mencionan la composición química del material; en el presente estudio, me avoco a investigar un yacimiento virgen ubicado en la región Pasco, cuya composición química menciono en anexo tabla 3; este dato es importante, porque pueden haber materiales refractarios en su composición que bajan la calidad del material y varían las temperaturas de calcinación así como la calidad del producto.

- 2) Para el desarrollo de la presente investigación propuse que las temperaturas de calcinación deben ser de 120, 150 y 200°C, respectivamente; sin embargo, el yeso calcinado a 120°C no respondió a la expectativa esperada, no llegó a fraguar hasta más de 4 horas; por tanto, se descartó esta propuesta por no llegar a la calcinación deseada del yeso; es decir, no respondió para las diferentes pruebas de ensayo ni para la elaboración de las probetas. como aparece en la tabla 45.
- 3) Sánchez, (2003) recomienda que la relación A/Y para yesos de construcción deben estar entre 0.6 a 1.0; sin embargo, en el presente estudio se hizo la relación A/Y para cada temperatura de calcinación; determinando para 150°C 0.57 y para 200°C 0.815, que están dentro de los límites recomendados; dato importante para preparación de la mezcla.
- 4) Las bibliografías consultadas como libro, tesis de pre grado, maestrías, doctorados y muchas publicaciones hablan sobre temperaturas de calcinación para diferentes usos del yeso; pero, ningunos hacen referencia sobre el tiempo de permanencia en el interior del hogar del horno; en mi caso menciono en la siguiente tabla.

Tabla 48:

Resultado de calcinación y tiempo de fraguado

Temp °C	Tiempo Horas	Fragua Minutos	Tiempo Horas	Fragua Minutos	Tiempo Horas	Frgua Minutos
120	2.00	Nula	4.00	Nula	6.00	incipiente
150	2.00	Nula	4.00	Incipiente	6.00	12.6
200	2.00	Nula	4.00	44	6.00	4.6

En esta tabla se observa que la calcinación debe estar por encima de las 6 horas; entre 6 a 8 horas; llegar las 2 primeras horas de temperatura ambiente hasta 200°C y las 6 horas siguientes a 150°C ó 200°C.

- 5) En el Perú con fecha 18 de noviembre del 2020 se aprueba la Norma NTP 334.135; 2015 sobre yesos de construcción; sin embargo, hasta la fecha no es publicada el contenido de dicha norma; por esta razón, muchos investigadores toman como guía la norma española UNE-EN 13279-2 para los ensayos físico-mecánico de los productos de yeso. (Boza y Loayza, 2017, p.124) menciona que dicha norma abarca 3 tipos de yeso que son:

- 5000 μm , yesos para morteros de agarre (C2)
- 200 μm y 100 μm , yesos fibrosos (C1)
- 1500 μm , para trabajos con yeso fibroso y yesos en capa fina (C1, C6).

La calidad de yeso que menciona es demasiado fina; la que propongo en este estudio es yeso para estuco con 80% malla -50 con las que se hizo todas las pruebas para determinar las diferentes propiedades físico mecánicas del yeso.

- 6) El trabajo experimental desde trituración, calcinación, molienda, preparación de probetas, así como los ensayos: tiempo de fraguado, período inicial de absorción, entre otros se realizaron en el laboratorio de metalurgia de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión de Cerro de Pasco con el apoyo de la ingeniera responsable del laboratorio.
- 7) Los ensayos físico-mecánicas como resistencia a flexión y resistencia a compresión axial simple se realizaron en el laboratorio de Ingeniería Civil de la misma institución con el apoyo del ingeniero responsable del

laboratorio; los equipos utilizados para la resistencia a flexión se utilizó la máquina Prensa Universal y para la resistencia a compresión axial simple se utilizó la Prensa Pinzuar.

- 8) Según (Sánchez, 2003) la resistencia a flexión para yesos hemihidratados deben variar de acuerdo a la cantidad de agua en la mezcla; y él indica que para una relación A/Y de 0.6 debe ser 20 kg/cm²; en el presente estudio se determinó la relación A/Y para cada temperatura de calcinación; teniendo para yeso calcinado a 150°C igual a 0.57, el valor promedio obtenido con esta relación es 21.9 kg/cm², ligeramente superior al propuesto por el autor; con respecto al yeso calcinado a 200°C la relación obtenida es 0.815, el valor promedio obtenido para esta relación es 45.97 kg/cm² superior al propuesto; por tanto, se debe bajar la relación; es decir agregar más agua a la mezcla y obtener mayor tiempo de fraguado.
- 9) De igual manera que para la resistencia a flexión, para yesos hemihidratados la resistencia a compresión axial simple varía de acuerdo a cantidad de agua agregada a la mezcla; en este caso (Sánchez, 2003) recomienda que la relación A/Y debe ser 0.6 con un valor de 90 kg/cm²; en el experimento hecho con las relaciones indicadas en el párrafo 7, el resultado obtenido para yeso calcinado a 150°C es 75.97 kg/cm²; mientras que para yeso calcinado a 200°C es 83.34 kg/cm², respectivamente. En este caso no está muy lejos a lo recomendado.
- 10) Con relación a fraguado (García, 1988) indica que el tiempo máximo de principio de fraguado para yesos de construcción debe ser de 8 minutos. En el estudio realizado los resultados de tiempo de fraguado fueron para yeso calcinado a 150°C de 12.6 minutos y para yeso calcinado de 200°C de 4.6

minutos; en el primer caso es demasiado tiempo, esto se debe corregir con tiempo de calcinación; es decir, mantener mayor tiempo dentro del hogar del horno; en el segundo caso bajar la relación A/Y.

- 11) Con respecto al período inicial de absorción no se encontraron referencias de investigación sobre este tema; lo que debo indicar de acuerdo al resultado obtenido; las probetas preparadas con yeso calcinado de 150°C absorbieron menor cantidad de agua que el calcinado a 200°C; esto repercute en el producto final, cuando se lleva a cabo revestimientos en las paredes absorberá menor porcentaje de humedad.
- 12) La diferencia en el tiempo de fraguado entre los yesos calcinados a temperaturas de 150°C y la de 200°C; es debido a un proceso químico que se lleva a cabo en la etapa de la calcinación; en el primer caso, por no haber llegado a calcinarse completamente; entonces, al entrar en contacto el yeso con el agua, la rehidratación se efectúa en un tiempo mayor que en el yeso calcinado a 200°C.
- 13) En los resultados obtenidos vistos en las figuras 93 y 94 se muestran las resistencias tanto a flexión y resistencia axial simple soportan mayor presión los calcinados a 200°C que los calcinados a 150°C, respectivamente.
- 14) Igualmente, en el resultado que se muestra en la figura 95, en el ensayo del tiempo de fraguado el que mostró mejor resultado y cercano al recomendado por (García, 1988) fue el yeso calcinado a 200°C.
- 15) En el proceso de secado las probetas elaboradas con yeso calcinado a 150°C se observaron que muchas de las probetas se deformaron tomando una curvatura en forma de arco; así como también una reducción en el área de sección transversal y la longitud de las mismas.

16) Las probetas elaboradas con yeso calcinado a 200°C se mantuvieron firmes en toda su estructura con mínimas diferencias al original.

CONCLUSIONES

- 1) En los diferentes resultados obtenidos que se muestran en el capítulo de resultados se demuestran la hipótesis general planteada “**¿Los cambios de temperatura de calcinación influirán en la determinación de las propiedades físicas y mecánicas del yeso proveniente del centro poblado menor de Rocco?**”; El cambio de temperatura varía sustancialmente y la temperatura óptima es de 200°C en un tiempo de 6 horas, Es decir, en los ensayos realizados se observa que varían significativamente en la calidad del yeso.
- 2) En la sub hipótesis 1 se plantea que “**En la calcinación a 120, 150 y 200°C variará la resistencia a flexión del yacimiento de yeso; es decir, ¿a mayor temperatura de calcinación, mayor será la resistencia a flexión?**”; el yeso calcinado a 120°C se descartó porque en la prueba de fraguado no resultó favorable, esto demuestra que en muchas informaciones bibliográficas mencionan que el yeso a partir de 107°C se convierte en yeso hemihidratado. Por tanto, se trabajó con yesos calcinados a 150°C y 200°C, los resultados obtenidos demuestran esta sub hipótesis, que a mayor temperatura de calcinación es mayor la resistencia flexión, la que aparecen en el capítulo de resultados.
- 3) En la sub hipótesis 2 se plantea que “**¿a mayor temperatura de calcinación, será mayor la resistencia a la compresión?**”; igualmente, que para la resistencia a flexión en el capítulo de resultados se demuestra que a mayor temperatura de calcinación es mayor la resistencia a la compresión axial simple.
- 4) En la sub hipótesis 3, se plantea que “**¿a mayor temperatura de calcinación, será mayor el tiempo de fraguado?**”; en el mismo capítulo de resultados se demuestra que el yeso calcinado a 200°C fragua en el tiempo aproximado recomendado por el referido autor; es decir, fragua en 4.6 minutos según el resultado obtenido,

tiempo suficiente para que el trabajador realice su trabajo de revestimiento o enlucido; mientras que, el yeso calcinado a 150°C fragua en 12.6

- 5) En lo que respecta a la sub hipótesis 4, donde se hace la pregunta “¿a **mayor temperatura de calcinación, será mayor el periodo inicial de absorción?**”; Las probetas con yeso calcinado a 200 °C 138.2g/min/64cm² muestran mayor cantidad de agua absorbida comparado con el yeso calcinado a 150 °C 86.78g/min/64cm²; por lo que se demuestra que a mayor temperatura la absorción es mayor.
- 6) Por otro lado, en la relación A/Y obtenida de los yesos calcinados a 150°C y 200°C podemos afirmar que a mayor relación se obtiene mayor porosidad en el resultado de la mezcla; asimismo, cuando el secado es provocado o asistido el agua contenido en la mezcla se evapora rápidamente dejando grandes espacios vacíos en la estructura por falta de tiempo en el ordenamiento de las partículas; por tanto producto frágil, poroso y deformado con ciertos defectos en la superficie del revestimiento o impresión.
- 7) La relación A/Y es importante en la preparación de la mezcla, a mayor relación el tiempo de fraguado es mayor; es decir, contiene mayor cantidad de agua, esto da como resultado mezcla blanda y manipulable; además cuando el yeso es demasiado fino la relación A/Y es mínima, indica mayor cantidad de yeso en la mezcla reduciendo los tiempos de fraguado y trabajo.
- 8) La finalidad del estudio fue demostrar que el yacimiento ubicado en el centro poblado menor de Rocco, provincial Daniel A. Carrión, departamento de Pasco, era bueno para producir yeso para estuco; los resultados obtenidos demuestran que el material estudiado, reúne los parámetros recomendados por las normas españolas y la Norma Técnica Peruana para ser utilizados en la industria de la construcción.

RECOMENDACIONES

- 1) Se debe continuar con las investigaciones de este yacimiento para obtener otros productos como: yesos para cerámica, odontología, yesos hidráulicos, entre otros; que son calcinados por encima de 200°C y determinar el tiempo de calcinación para cada uno.
- 2) En las especificaciones técnicas se debe mencionar la relación A/Y del producto por ser un dato importante para la preparación de la mezcla; debe ser de fácil manipulación, tener en cuenta que la mezcla no sea muy fluida.
- 3) Para iniciar los trabajos de producción, comenzar con la construcción de un horno artesanal y quemar por campañas para abastecer en primer lugar al mercado local, de este modo hacer un capital para ingresar a producir industrialmente.
- 4) A través de la comunidad pedir apoyo al gobierno regional y/o nacional para realizar un proyecto para una producción a nivel industrial y producir yesos de diversas calidades para su posterior transformación como planchas para el sistema dry wall, baldosas para cielo rasos, yesos para cerámica fina, etc.
- 5) Asimismo, producir yesos para la industria de la fabricación del cemento, insumo utilizado como retardador del tiempo de fraguado; como fertilizantes ampliamente utilizados en el agro para bajar el acidez de los suelos de cultivo; además, bueno por contener calcio en su composición. Estos productos se comercializan sin calcinar, sólo con partículas granuladas de acuerdo al requerimiento de los usuarios.
- 6) El yeso es un material altamente utilizado en la industria de la construcción sólo para revestimientos, enlucidos, impresos etc. de los paramentos, como se observa en el presente estudio las cargas que soportan son mínimas; razón por la cual, no son utilizados en la estructura de las obras civiles.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arias, F. G. (2006). *El Proyecto de Investigación - Introducción a la metodología científica*. Caracas, Venezuela: Episteme.
- Asociación Técnica y Empresarial del yeso. (Diciembre de 2017). Manual de Ejecución - Revestimientos con yeso. *Sección de fabricantes de productos en polvo*, 14 - 17.
[file:///D:/APA/Manual%20de%20Ejecuci%C3%B3n%20Revestimientos%20con%20Yeso%20\(ATEDY%20-%202017.pdf](file:///D:/APA/Manual%20de%20Ejecuci%C3%B3n%20Revestimientos%20con%20Yeso%20(ATEDY%20-%202017.pdf)
- Avila Acosta, R. B. (2001). *Metodología de la investigación : cómo elaborar la tesis y/o investigación : ejemplos de diseños de tesis y/o investigación*2021. Lima, Perú: Estudios y Ediciones R.A.
- Avila Baray, H. L. (2006). *Introducción a la Metodología de la Investigación*. México.
- Baena Paz, G. (2017). *Metodología de la investigación* (3ra ed.). México, México: Grupo Editorial Patria.
- Bolivar, G. (19 de Julio de 2019). Calcinación: proceso, tipos, aplicaciones. *Lifeder*.
<https://www.lifeder.com/calcinacion/>
- Boza Quispe, ., L., & Loayza Velasque, P. V. (2017). *Influencia de la variación de temperatura de cocción en las propiedades físicas y mecánicas del yeso proveniente de la cantera Orlando 2007 de acuerdo a la norma UNE-EN 13279-2*. Universidad Andina del Cusco, Cusco, Cusco, Perú.
https://repositorio.uandina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12557/1363/Peter_Lucia_Tesis_bachiller_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Castellón Guillén, F. J. (2021). Exposición a fuego y caracterización de revestimientos de yeso convencionales y revestimientos de yeso desarrollados con residuos. *Doctorado*. Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena.

- Cifuentes Girard, M. F. (2015). *Determinación del grado de deshidratación del yeso en la producción de cemento por medio de análisis termogravimétrico*. Guatemala.
- Cortepés Cortés Manuel E. y Iglesias León, M. (2004). Generalidades sobre Metodología de la Investigación. *Colección Material Didáctico*.
- Fernández Bedoya, V. H. (17 de Julio de 2020). Tipos de justificación en la investigación científica. *Revista Trimestral del Instituto Superior Universitario Espiritu Santo*, 71. doi:<https://doi.org/10.33970/eetes.v4.n3.2020.207>
- Franco, M., & Urtasun, M. (s.f.). Viabilidad e impacto de un estudio de investigación. *Cuadernos 43 Cómo elaborar un proyecto en ciencias de la salud*. <https://www.esteve.org/wp-content/uploads/2018/03/C43-09.pdf>
- García Matos, C. J. (s.f.). Estudio del yeso tradicional y sus aplicaciones en la arquitectura del Pallars Sobirá. *Master en Ingeniería de la Edificación*. Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona. <https://core.ac.uk/download/pdf/46111557.pdf>
- García Santos, D. A. (1988). Comportamiento Mecánico de Yeso Reforzado con Polímeros Sintéticos. En Tesis. Madrid, España.
- Gobierno de Navarra. (s.f.). Justificación Técnica de Proyectos de Cooperación. *Jornada Científica*, 3. <http://www.mazars.es>
- Grupo Banco Mundial. (Abril de 2022). *Pobreza en el Mundo*. Combatir la pobreza: <https://www.youtube.com/watch?v=Z0ihlPQkg8c>
- Guillen Viñas, J. L. (2005). Nuevas aplicaciones de recursos yesíferos, desarrollo, caracterización y reciclado. En *Tesis Doctoral*. Madrid, España. <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.439>
- Hernández Sampiere, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2010). *Metodología de la investigación* (5ta ed.). México, México: McGraw Hill.

- Hidalgo León, P. V. (2022). *Relevancia social y científica de las tesis de pregrado a través de una propuesta metodológica en las escuelas de ingeniería de sistemas e informática en la región sur de Perú*. Universidad Andina del Cusco, Cusco, Perú.
- Hohmann, A., Lames, M., & Letzelter, M. (2005). *Introducción a la ciencia del*. Barcelona: Paldotribo.
- I.L Samperio-Gómez, C. C.-E.-M.-D.-C. (S/F). Estudio de la Absorción de Agua en Moldes, con diferente composición de yeso y yeso-cemento, para el vaciado de suspensiones. *IX Encuentro de la Mujer en la Ciencia*, (pág. 5). México.
- INTAGRI S.C. (S/F). Manual de Uso del Yeso Agrícola como Mejorador de Suelos. *Categorías de Artículos*:, S/P.
- Katherine Solange, C. V., & Huamán Villa, Y. (2019). *Análisis de la variabilidad de las propiedades mecánicas del mortero de yeso producidas en la cantera de Huarocondo respecto a la cantera de Huacarpay según la norma une-en 132792cen*. Universidad Andina del Cusco, Cusco, Perú.
- Library. (s.f.). Evolución Histórica de la Utilización del Yeso. *1Library*.
<https://1library.co/article/evoluci%C3%B3n-hist%C3%B3rica-de-la-utilizaci%C3%B3n-del-yeso.y8gvll2z>
- Mamani Delgado, D. (2016). Evaluación Comparativa de las propiedades mecánicas entre el yeso y el yeso adicionado con materiales reciclados según la norma UNE - EN 13279-2 para su uso en la fabricación de placas de yeso. *Grado académico*. Universidad Andina del Cusco, Cusco, Perú.
- Mejía Mejía, E. (2005). *Técnicas e Instrumentos Investigación* (Primera ed.). Lima, Lima, Perú.
- Moreno Galindo, E. (27 de Marzo de 2021). Delimitación del problema de investigación. *Metodología de Investigación pautas para hacer Tesis*. Obtenido

de <https://tesis-investigacion-cientifica.blogspot.com/2013/08/delimitaciondel-problema-de.html>

Pinto Navarro, J. A. (19 de Octubre de 2017). Proceso de deshidratación del yeso. *Semana 4 del yeso*. <https://silo.tips/download/el-yeso-semana-4-estos-dosprocesos-deshidratacion-y-rehidratacion-son-la-base-d>

Rivero Fernández, L. (Noviembre-Diciembre de 1997). Fabricación de productos de base yeso y sus aplicaciones industriales. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 36(6), 1. Obtenido de <https://digital.csic.es/bitstream/10261/50308/1/bsecv-29-05-2012.pdf>

Roldán Latorre, W. L. (2011). Materiales puzolánicos para uso en conglomerantes especiales. *Doctorado*. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.

Saavedra Vera, J. V. (2013 - II). El yeso. *Universidad Nacional del Santa - Semana 4*. <https://docplayer.es/11603030-El-yeso-semana-4-estos-dos-procesosdeshidratacion-y-rehidratacion-son-la-base-de-la-tecnologia-del-yeso.html>

Sanchez Henao, J. C. (2003). Materiales fibrosos de base conglomerada. En *Documento de trabajo*. Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/9004>

Subsecretaría de Minería. (Diciembre de 2017). Perfil de mercado del yeso. *Dirección General de Desarrollo Minero*, 5. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/287809/Perfil_Yeso_2017.pdf

Universidad Continental. (2016). Metodología de la Investigación.

Universidad de Alicante. (2008-2009). Práctica de Materiales de Construcción I.T.O.P. San Vicente del Raspeig,, España.

Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. (2015). Minerales no metálicos. En H.

C. Abel Robles, *Minerales no metálicos en la región Pasco* (pág. 84). Cerro de Pasco: San Marcos.

Villanueva, d. L. (2004). Evolución Histórica de la Construcción con Yeso. En *Informes de la construcción* (Vol. 56). España.

Yesos Especializados de México S.A. de C.V. (2009). Fabricación del Yeso.

Zhermack SpA. (S/F). Utilización de materiales de yeso en odontología. *Dental*

Magazine. Obtenido de

<https://magazine.zhermack.com/es/estudios-utilizacion-de-materiales-de-yeso-en-odontologia>

ANEXOS

Instrumentos de Recolección de Datos

Coordenadas UTM del yacimiento de yeso - Rocco

Nota: Minerales no metálicos en la región Pasco, p. 84

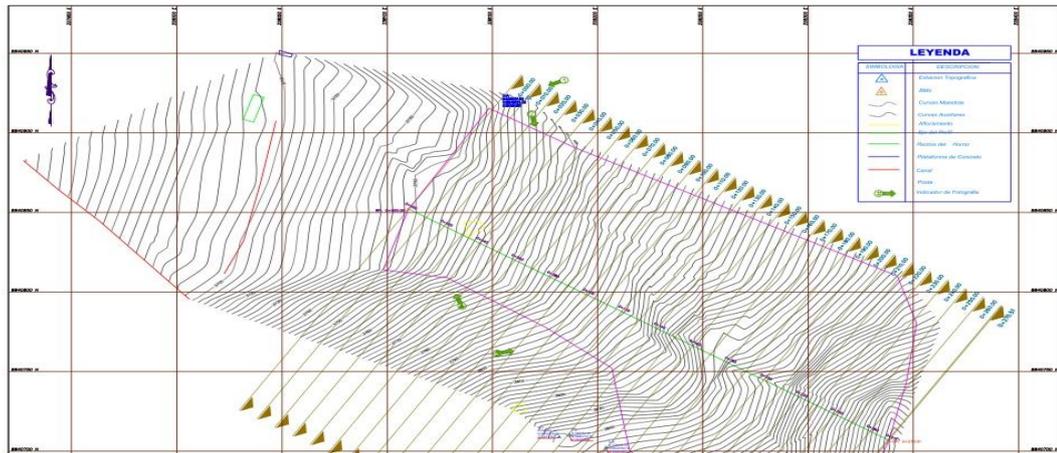
PUNTO	ESTE	NORTE	ELEVACIÓN	DESCRIPCION
79	338203.997	8840702.307	3845.845	E-B
121	338228.325	8840682.635	3859.230	E-C
200	338181.719	8840708.847	3841.361	E-D
201	338186.605	8840710.345	3839.668	E-E
220	338167.002	8840921.985	3760.000	E-A

Composición química del yacimiento de yeso - Rocco

COMPUESTOS	%	ppm	COMPUESTOS	%	ppm
Al ₂ O ₃	0.02		P ₂ O ₅	0.01	
Ba	.-	<10	SiO ₂	1.08	
CaO	32.33		Sr	.-	626
Cr ₂ O ₃	0.01		TiO ₂	0.01	
Fe ₂ O ₃	0.08		Y	.-	
K ₂ O	0.01		Zn	.-	<10
MgO	0.03		Zr	.-	<10
MnO	0.01		Sum	54.49	
Na ₂ O	0.02		LOI	20.91	
Nb	.-	<10			

Nota: Minerales no metálicos en la región Pasco, p. 83 *Reserva del yacimiento de yeso - Rocco*

Nota. Minerales no metálicos en la región Pasco, p. 84



Reservas del yacimiento de yeso - Rocco

Volumen	m³	D (Kg/m³)	TMH
Vol. PROBADO	3,233,373.30	2.32	7,501,426.06
Vol. PROBABLE	13,408,618.80	2.32	31,107,995.62
Volumen total	16,641,992.10		38,609,421.672

Nota. Minerales no metálicos en la región Pasco, p. 85 Apuntes del desarrollo experimental de las pruebas físico-mecánicas del yeso.

10/07/2003

Temperatura	W (g)	Peso
1	120°C	3 KJ
2	150°C	3 KJ
3	200°C	3 KJ

Muestra	W (g)	Peso	W	W	W
1-1	201.2				
1-2	192.5				
1-3	190.3				
1-4	195.5				
1-5	198.7				
1-6	206.6	345.2	18.9	4.0	4.1
1-7	197.9	345.1	16.0	4.0	4.1
1-8	203.8	343.3	15.9	4.0	4.0
1-9	200.5	367.3	16.0	4.0	4.0
1-10	218.6	379.7	16.1	3.8	4.0
1-11	188.2	376.7	16.0	4.0	4.0
1-12	208.6				
1-13	218.1				
1-14	234.4				

10/07/2003

Muestra	W (g)
1-1	214.9
1-2	214.3
1-3	208.3
1-4	213.6
1-5	213.4
1-6	237.0
1-7	213.2
1-8	213.4
1-9	218.1
1-10	224.7
1-11	232.8
1-12	214.9
1-13	209.7

Muestra	Temperatura	W (g)	Peso	W	W
A	120°C	2 Hr			
B	120°C	8+30 Hr			
C	150°C	2 Hr			
D	150°C	16 Hr			
E	150°C	32 Hr			
F	200°C	1 Hr			
F ₁	200°C	1 Hr			
F ₂	200°C	1 Hr			
D ₁	150°C	1 Hr			
D ₂	150°C	1 Hr			
D ₃	150°C	1 Hr			

15/07/2003

Muestra	W (g)	Peso	W	W
1-1	338.9	16.0	3.2	3.2
1-2	302.4	14.4	3.2	3.5
1-3	292.1	14.0	3.5	3.2
1-4	315.1	14.3	3.5	3.4
1-5	311.0	14.4	3.4	3.2
1-6	325.0	15.2	3.5	3.0

$R = m_1 - m_0$

W₁₀₀ = 9.5
W₁₅₀ = 100 gr
232.150 = 1000

$$R = \frac{100}{(232.1 - 109.5)} \text{ gr}$$

$$R = \frac{100}{122.6} = 0.815 \text{ gr}$$

150°C → 122.6 gr de W₁₀₀

Ficha para ensayo de resistencia a la flexión

 UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE METALURGIA																							
DETERMINACIÓN DE RESISTENCIA A FLEXIÓN																							
ENSAYO SEGUN NORMA UNE-EN 13279-2: 2006																							
TESIS: Optimización de la temperatura de calcinación para determinar las propiedades fisico-mecánicas del yacimiento de yeso del centro poblado menor de Rocco 2023																							
Tesista: BACHILLER PAOLO DIEGO HUAMAN ESPINOZA																							
LABORAT.: Laboratorio de metalurgia UNDAC UBICAC. YACIMIENTO: Centro Poblado Rocco LABORATORISTA; Tesista	Fecha: ____/____/____ Muestra N°: ____ Temp. calcinación: ____																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Muestra</th> <th>P</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>01</td><td></td></tr> <tr><td>02</td><td></td></tr> <tr><td>03</td><td></td></tr> <tr><td>04</td><td></td></tr> <tr><td>05</td><td></td></tr> <tr><td>06</td><td></td></tr> <tr><td>07</td><td></td></tr> <tr><td>08</td><td></td></tr> <tr><td>09</td><td></td></tr> <tr><td>10</td><td></td></tr> </tbody> </table>	Muestra	P	01		02		03		04		05		06		07		08		09		10		P: carga de rotura
Muestra	P																						
01																							
02																							
03																							
04																							
05																							
06																							
07																							
08																							
09																							
10																							

Ficha para ensayo de resistencia a compresión axial simple

 UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE METALURGIA																																		
DETERMINACIÓN DE RESISTENCIA A COMPRESION																																		
ENSAYO SEGUN NORMA UNE-EN 13279-2: 2006																																		
TESIS: Optimización de la temperatura de calcinación para determinar las propiedades fisico-mecánicas del yacimiento de yeso del centro poblado menor de Rocco 2023																																		
Tesista: BACHILLER PAOLO DIEGO HUAMAN ESPINOZA																																		
LABORAT.: Laboratorio de metalurgia UNDAC UBICAC. YACIMIENTO: Centro Poblado Rocco LABORATORISTA; Tesista	Fecha: ____/____/____ Muestra N°: ____ Temp. calcinación: ____																																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Muestra</th> <th>E_c</th> <th>L (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>01</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>02</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>03</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>04</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>05</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>06</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>07</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>08</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>09</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>10</td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>	Muestra	E_c	L (mm)	01			02			03			04			05			06			07			08			09			10			E_c : máxima carga de rotura en N
Muestra	E_c	L (mm)																																
01																																		
02																																		
03																																		
04																																		
05																																		
06																																		
07																																		
08																																		
09																																		
10																																		

Ficha para ensayo de tiempo de fraguado

 UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE METALURGIA					
DETERMINACIÓN DE LOS TIEMPOS DE FRAGUADO					
ENSAYO SEGÚN NORMA UNE-EN 13279-2: 2006					
TESIS:					
Optimización de la temperatura de calcinación para determinar las propiedades fisico-mecánicas del yacimiento de yeso del centro poblado menor de Rocco 2023					
Tesista: BACHILLER PAOLO DIEGO HUAMÁN ESPINOZA					
LABORAT.: Laboratorio de metalurgia UNDAC			Fecha = _____		
UBICAC. YACIMIENTO: Centro Poblado Rocco			Muestra N° = _____		
LABORATORISTA; Tesista			Temp. calcinación: _____		
Método del cuchillo					
		t1			
Muestra	t0 (min)	h	min	seg.	D (mm)
01					
02					
03					
04					
05					
06					
07					
08					
t0: momento en que se pone el yeso en contacto con el agua, en min. t1: tiempo en que los labios de hendidura realizada sobre el yeso con el cuchillo dejan de acercarse, en min. D: diámetro de la galleta en mm					

Ficha para ensayo de período inicial de absorción

 UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE METALURGIA				
PERIODO INICIAL DE ABSORCIÓN				
ENSAYO SEGÚN NORMA NTP				
TESIS:				
Optimización de la temperatura de calcinación para determinar las propiedades fisico-mecánicas del yacimiento de yeso del centro poblado menor de Rocco 2023				
Tesista: BACHILLER PAOLO DIEGO HUAMÁN ESPINOZA				
LABORAT.: Laboratorio de metalurgia UNDAC			Fecha = _____	
UBICAC. YACIMIENTO: Centro Poblado Rocco			Muestra N° = _____	
LABORATORISTA; Tesista			Temp. calcinación: _____	
Muestra	Ancho (mm)	Largo (mm)	W0 (g)	W1 (g)
01				
02				
03				
04				
05				
06				
07				
08				
W0: Peso final del después del contacto con el agua, en g W1: Peso inicial del secado, en g				

Imágenes del proceso de investigación

Muestra de aljez y trituración

Matriz de Consistencia

Optimización de la temperatura de calcinación para determinar las propiedades físicas y mecánicas del yacimiento de yeso del centro poblado menor de Rocco para su industrialización, 2023.

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE INDEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	METODOLOGIA
¿Cómo la variación de temperatura de calcinación influye en las propiedades físicas y mecánicas del yeso y cuál es el tiempo ideal para obtener un producto que sea competitivo?	Hallar la temperatura óptima de calcinación para determinar las propiedades físicas y mecánicas del yacimiento de yeso del centro poblado menor de Rocco para su industrialización.	La temperatura de calcinación variará significativamente para determinar las propiedades físicas y mecánicas del yacimiento de yeso del centro poblado menor de Rocco para su industrialización.	Temperatura de calcinación	Calcinación a 120°C Calcinación a 150°C Calcinación a 200°C Relación A/Y	Tiempo para 120°C Tiempo para 150°C Tiempo para 200°C Cantidad de agua para relación A/Y	ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN Cuantitativo TIPO DE INVESTIGACIÓN Aplicada NIVEL DE INVESTIGACIÓN Descriptivo

PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICOS	VARIABLE DEPENDIENTE			DISEÑO DE INVESTIGACIÓN
<p>a) ¿Cómo la calcinación a 120, 150 y 200°C influye en la resistencia a flexión del yacimiento de yeso?</p> <p>b) ¿Cómo la calcinación a 120, 150 y 200°C influye en la resistencia a compresión axial simple del yacimiento de yeso?</p>	<p>a) Calcinar la muestra a 120, 150 y 200°C para determinar la resistencia a flexión del yacimiento de yeso.</p> <p>b) Calcinar la muestra a 120, 150 y 200°C para determinar la resistencia a compresión axial simple del yacimiento de yeso.</p>	<p>a) La calcinación a 120, 150 y 200°C variará para determinar la resistencia a flexión del yacimiento de yeso.</p> <p>b) La calcinación a 120, 150 y 200°C variará para determinar la resistencia a compresión axial simple del yacimiento de yeso.</p>	Propiedades físicas y mecánicas	<ul style="list-style-type: none"> • Resistencia a flexión • Resistencia a compresión axial simple • Tiempo de fraguado • Período inicial de absorción (succión) 	<ul style="list-style-type: none"> • Fuerza de flexión en Kg, área de resistencia cm^2 • Fuerza de compresión axial simple en Kg, área de aplicación cm^2 • Tiempo de fraguado en min. • Valor de período inicial de absorción en $\text{gr}/\text{min}/\text{cm}^2$ 	<p>Experimental</p> <p>MÉTODO DE INVESTIGACIÓN</p> <p>Hipotético - Deductivo</p> <p>POBLACIÓN DE ESTUDIO</p> <p>100 probetas</p> <p>MUESTRA DE ESTUDIO</p> <p>34 probetas</p> <p>MUESTREO</p> <p>Probabilístico</p> <p>INSTRUMENTO</p> <p>Norma UNE-EN 13279-2-2006 para determinar:</p>

<p>c) ¿Cómo la calcinación a 120, 150 y 200°C influye en el tiempo de fraguado del yacimiento de yeso?</p>	<p>c) Calcinar la muestra a 120, 150 y 200°C para hallar el tiempo de fraguado del yacimiento de yeso.</p>	<p>c) La calcinación a 120, 150 y 200°C variará para hallar el tiempo de fraguado del yacimiento de yeso.</p>				<ul style="list-style-type: none"> • Resistencia a flexión • Resistencia a compresión axial • Tiempo de fraguado. • Norma Técnica Peruana 399.604 y 399.613 para ensayo de absorción (succión)
<p>d) ¿Cómo la calcinación a 120, 150 y 200°C influye en la relación A/Y en el período inicial de absorción (succión) del yacimiento de yeso?</p>	<p>d) Calcinar la muestra a 120, 150 y 200°C para ver el período inicial de absorción (succión) del yacimiento de yeso.</p>	<p>d) La calcinación a 120, 150 y 200°C variará para ver el período inicial de absorción (succión) del yacimiento de yeso.</p>				

Panel Fotográfico



Pesado y estibado de aljez para calcinación



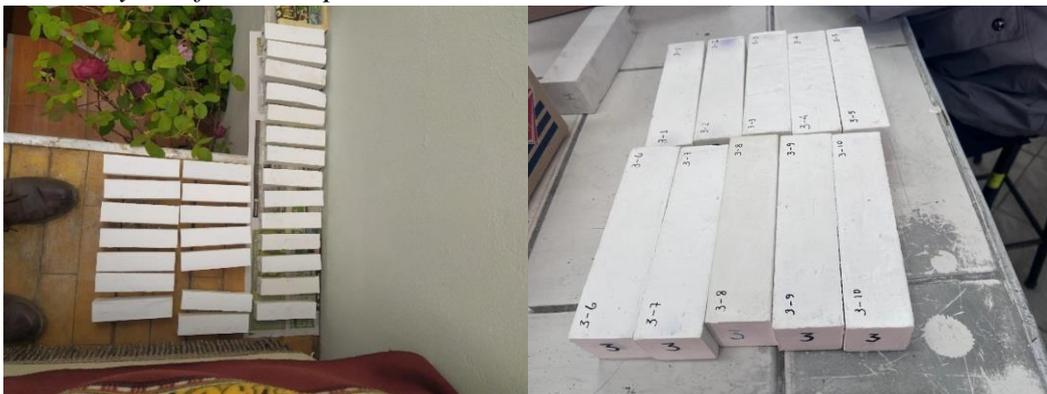
Molienda y prueba de tiempo de fraguado de yeso



Tamizado y preparación de probetas



Secado y codificado de probetas



Secado y pesado de probetas para las pruebas físico-mecánicas



Prueba de resistencia a flexión



Prueba de resistencia a compresión axial simple



Prueba de tiempo de fraguado



Prueba de período inicial de absorción



Secado de la prueba de absorción y pesado con líquido absorbido

