

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

ESTUDIO DE MORTEROS PARA REPARACIÓN ARQUEOLÓGICA
Y PATRIMONIAL

COMPONENTE A: METACAOLÍN

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

CONDÓR DÉFAZ CARLOS ALEXANDER

carlos.condor@epn.edu.ec

DIRECTORA: ING. EUGENIA DE LAS MERCEDES VILLACIS TRONCOSO

mercedes.villacis@epn.edu.ec

DMQ, AGOSTO 2023

CERTIFICACIONES

Yo, CARLOS ALEXANDER CÓNDROR DÉFAZ declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

CARLOS ALEXANDER CÓNDROR DÉFAZ

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por CARLOS ALEXANDER CONDOR DEFAZ, bajo mi supervisión.

EUGENIA DE LAS MERCEDES VILLACIS TRONCOSO
DIRECTORA

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como los productos resultantes del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

CARLOS ALEXANDER CÓNDOR DÉFAZ

EUGENIA DE LAS MERCEDES VILLACIS TRONCOSO

DEDICATORIA

Dedico con todo mi corazón este Trabajado de Titulación a mis amados padres, Carlos Cóndor y Grace Défaz, pues sin ellos no lo habría logrado. Su bendición diaria a lo largo de este trayecto me ha protegido y guiado por el camino correcto. Por esta razón les entrego mi trabajo como agradecimiento por su paciencia y amor incondicional.

A mis hermanas, Leslie y Carla, a quienes quiero con todo mi corazón. Saben que cuentan con todo mi apoyo en sus metas de vida, pues estoy seguro de que triunfarán en cada una de ellas.

Y a mi querido abuelito Gonzalo Cóndor, que está en el cielo, sé que cada día me brindaba su bendición para seguir adelante.

Carlos Alexander Cóndor Défaz

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi agradecimiento a Dios por concederme salud y permitirme vivir tan maravillosa experiencia que ha sido mi etapa universitaria.

Agradezco especialmente a mi madre, Grace, quien ha sido un pilar fundamental en todo este proceso, brindándome su apoyo incondicional, su comprensión y confianza en cada adversidad. Su ejemplo me ha convertido en una persona valiente y dispuesta a luchar por cada una de mis metas.

A mi padre, Carlos, le agradezco por su constante esfuerzo y paciencia a lo largo de mi carrera universitaria. Su guía y sólidos valores me han conducido por el camino correcto, sin su respaldo y apoyo, no podría haber llegado hasta este momento.

A mis hermanas Lesli y Carla, por demostrarme su cariño y brindarme su ayuda cuando era necesario. A mis tías Ximena, Nelly y Marlene, por siempre estar presentes, su preocupación y buenos deseos influyeron para seguir adelante.

A la carrera de Ingeniería Civil de la Escuela Politécnica Nacional por su excelente formación académica y a todos los docentes que la conforman, cuyos conocimientos forjan profesionales de excelencia.

Al Laboratorio de Ensayo de Materiales, Mecánica de Suelos y Rocas (LEMSUR) y todo su personal, de quien recibí una gran acogida dentro del laboratorio y supieron brindar sus conocimientos para el desarrollo de este trabajo.

Agradezco de manera especial a la Ingeniera Mercedes Villacis, quien nos dio la oportunidad de llevar a cabo proyecto y ha compartido generosamente sus conocimientos, además de brindarnos su apoyo invaluable para poder culminarlo de la mejor manera.

De igual forma quiero agradecer a mis queridos amigos Jason y Cristhian, con quienes compartí las mejores anécdotas durante este trayecto, han sabido brindarme su amistad y apoyo en momentos adversos a lo largo de esta etapa.

A Deisy, Thalía y Jonathan, mis amigos y compañeros de trabajo de titulación, el tiempo compartido y el apoyo mutuo contribuyó en la realización de este proyecto.

Por último, agradezco a mis primos, amigos y todas aquellas personas, que formaron parte de este camino de preparación profesional y aportaron con su granito de arena para lograr este objetivo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CONTENIDO	V
ÍNDICE DE TABLAS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
RESUMEN.....	IX
CAPITULO 1.....	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivo general.....	3
1.2. Objetivos específicos.....	3
1.3. Alcance	3
1.4. Marco teórico	4
1.4.1. Patrimonio cultural	4
1.4.2. Generalidades de Morteros de Cal	4
1.4.3. Piedra Caliza.....	5
1.4.4. Cal viva	5
1.4.5. Cal apagada.....	7
1.4.6. Arena normalizada.....	8
1.4.7. Agua normalizada	8
1.4.8. Caolín.....	9
1.4.9. Metacaolín.....	9
CAPITULO 2.....	11
2. METODOLOGÍA	11
2.1. Tipo de investigación	11
2.2. Materia prima	11
2.2.1. Cal.....	11
2.2.2. Arcilla caolinita	12
2.2.3. Arena de Sílice Normalizada.....	13
2.2.4. Arena.....	15
2.2.5. Agua.....	15
2.3. Instalaciones utilizadas para los ensayos.....	15
2.4. Preparación de materiales y ensayos de laboratorio	16
2.4.1. Apagado de la cal	16
2.4.2. Preparación Metacaolín	16
2.4.3. Preparación de especímenes cúbicos de morteros de cal con sustitución en peso de metacaolín.....	18
2.4.3.1. Dosificación.....	18

2.4.3.2.	Elaboración de la mezcla	19
2.4.3.3.	Determinación de flujo	21
2.4.3.4.	Elaboración de cubos.....	22
2.4.4.	Resistencia de morteros a compresión.....	23
2.4.5.	Interrupción de la hidratación de los morteros	25
2.4.6.	Difracción de Rayos X.....	27
CAPITULO 3.....		29
3.	RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	29
3.1	Resultados	29
3.1.1.	Mortero Patrón con Arena Ottawa y Patrón con Arena Pifo	29
3.1.1.1	Flujo	29
3.1.1.2	Resistencia a la Compresión	29
3.1.1.3	Difracción de Rayos X – 90 días.....	30
3.1.2.	Morteros con Metacaolín.....	31
3.1.2.1.	Resistencia a la Compresión	31
3.1.1.1.1.	Flujo de Morteros con sustitución en peso de 5%, 10% y 20%	33
3.1.1.1.2.	Densidad	34
3.1.1.1.3.	Difracción de Rayos X – 90 días.....	34
3.1.1.3.1.	Patrón Ottawa – Metacaolín 5%, 10% y 20 % a la edad de 90 días.....	35
3.1.1.3.2.	Patrón Pifo – Metacaolín 5%, 10% y 20% a la edad de 90 días.....	37
3.2	Conclusiones	38
3.3	Recomendaciones	41
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		42
ANEXOS.....		45

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Propiedades básicas de la Piedra Caliza.....	5
Tabla 1.2 Requisitos Arena Normalizada.....	8
Tabla 1.3 Propiedades Físicas - Caolín.....	9
Tabla 1.4 Requisitos Químicos - Metacaolín.....	10
Tabla 2.1 Propiedades Químicas - Caolín.....	13
Tabla 2.2 Propiedades Físicas - Caolín.....	13
Tabla 2.3 Granulometría - Arena normalizada.....	14
Tabla 2.4 Características - Arena Normalizada.....	14
Tabla 2.5 Propiedades Físicas - Arena Normalizada.....	14
Tabla 2.6 Caracterización - Arena de Pifo.....	15
Tabla 2.7 Dosificación - Morteros Patrones.....	18
Tabla 2.8 Dosificación - Morteros con Metacaolín.....	19
Tabla 3.1 Determinación de Flujo – Patrones.....	29
Tabla 3.2 Resistencia a la Compresión – Patrones.....	30
Tabla 3.4 Resistencia a la Compresión- Morteros con Metacaolín.....	31
Tabla 3.3 Determinación de Flujo - Morteros con Metacaolín.....	33
Tabla 3.5 Densidad - Morteros Patrón y Morteros con Metacaolín.....	34
Tabla 3.6 Resultados de Difracción de Rayos X - 90 días.....	35
Tabla 3.7 Resultados de Difracción de Rayos X - 90 días.....	37

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Ciclo de la cal.	6
Figura 2.1 Sacos de cal del Instituto Nacional de Patrimonio Cultural.	12
Figura 2.2 Arcilla Caolinita	12
Figura 2.3 Arena de Sílice Normalizada.	13
Figura 2.4 Arena de Pifo.	15
Figura 2.5 Horno de Mufla	17
Figura 2.6 Muestras de metacaolín	18
Figura 2.7 Mezcladora.	20
Figura 2.8 Mesa de flujo y molde cónico.	21
Figura 2.9 Orden de apisonado al moldear las mezclas.....	23
Figura 2.10 Maquina de compresión.	24
Figura 2.11 Embudo Büchner y Matraz	25
Figura 2.12 Desecador con muestras secas.	26
Figura 2.13 Portamuestra estándar, cucharilla química, portaobjetos.....	27
Figura 2.14 Equipo de Difracción de Rayos X	27
Figura 3.1 Difracción de Rayos X - Mortero patrón Ottawa a la edad de 90 días.	30
Figura 3.2 Difracción de Rayos X - Mortero Patrón Pifo a la edad de 90 días.	31
Figura 3.3 Curva de Resistencia a la Compresión - Morteros Patrones y Morteros con Metacaolín	32
Figura 3.4 Comparación de resultados de la Resistencia a la Compresión entre Morteros Patrones y Morteros con Metacaolín.	33
Figura 3.5 Comparación de densidades entre Morteros Patrones y Morteros con Metacaolín.	34
Figura 3.6 Difracción de Rayos X para mortero patrón Ottawa y metacaolín al 5%,10% y 20%, a la edad de 90 días.	35
Figura 3.7 Cuadro comparativo de resultados de Difracción de Rayos X	36
Figura 3.8 Difracción de Rayos X para mortero patrón Pifo y metacaolín al 5%,10% y 20%, a la edad de 90 días.	37
Figura 3.9 Cuadro comparativo de resultados de Difracción de Rayos X.	38

RESUMEN

El presente trabajo tiene por objeto analizar el comportamiento de morteros de cal apagada que será utilizado para la reparación y conservación de estructuras arqueológicas y patrimoniales, dichos morteros van a ser fabricados con metacaolín en diferentes porcentajes de sustitución a la cal.

El metacaolín se lo obtiene a través de la calcinación de la arcilla caolinita a una temperatura de 700°C, donde obtiene sus mejores características de material suplementario, el cual proporcionará una mejora en las propiedades físico-mecánicas aportando resistencia a la compresión, al igual que las propiedades químicas como son la reducción a la permeabilidad, la porosidad y la fisuración, aumenta la resistencia al ataque químico, además que su color característico aporta una mejoría en el aspecto final del mortero.

La cal apagada obtenida artesanalmente al hidratar rocas de cal viva se encuentra en un rango de apagado de 60 días.

Los ensayos efectuados en el mortero se basaron en la normativa americana (ASTM C109M, 2021) y la norma ecuatoriana (NTE INEN 488, 2009)

Los resultados de interés se obtuvieron a partir del ensayo de resistencia a la compresión que se ejecutó a cubos de morteros con sustitución en peso de 5%, 10% y 20 % de cal, a diferentes edades de curado. Las edades en la que se efectuó los ensayos fueron de 28, 56 y 90 días.

Con la finalidad de obtener información detallada de la estructura y propiedades químicas que presentan los morteros se realizó los ensayos de Termogravimetría y Difracción de Rayos X (DRX).

PALABRAS CLAVE: mortero, cal, metacaolín, estructuras patrimoniales.

ABSTRACT

The purpose of this study is to analyze the behavior of hydrated lime mortars intended for the repair and conservation of archaeological and heritage structures. These mortars will be manufactured using metakaolin at various replacement percentages for lime.

Metakaolin is obtained through the calcination of kaolinite clay at a temperature of 700°C, where it attains its optimal supplementary material characteristics. This material will enhance the physical-mechanical properties, contributing to compression strength, as well as chemical properties such as reduced permeability, porosity, and cracking. It increases resistance to chemical attacks, and its characteristic color also improves the final appearance of the mortar.

The handcrafted hydrated lime obtained by slaking quicklime rocks falls within a slaking range of 60 days.

The tests performed on the mortar were based on the American standard (ASTM C109M, 2021) and the Ecuadorian standard (NTE INEN 488, 2009).

The results of interest were obtained from compressive strength tests executed on mortar cubes with replacement ratios of 5%, 10%, and 20% by weight of lime, at different curing ages. The ages at which the tests were conducted were 28, 56, and 90 days.

In order to obtain detailed information about the structure and chemical properties of the mortars, Thermogravimetric Analysis and X-Ray Diffraction (XRD) tests were conducted.

KEYWORDS: mortar, lime, metakaolin, heritage structures.

CAPITULO 1

1. INTRODUCCIÓN

La restauración y conservación de las estructuras del patrimonio histórico-artístico se ha convertido en una preocupación que ha ido incrementando en los últimos tiempos, ocasionando un aumento de conciencia social con respecto al valor cultural y económico de las estructuras patrimoniales.

Esta tendencia, hace que haya aumentado el interés de técnicos, profesionales e investigadores sobre metodologías, materiales y criterios de intervención (Sepulcre Aguilar, 2005).

En la actualidad, existen ciertos criterios para una buena restauración, es necesario una intervención mínima y respeto a la autenticidad del patrimonio y el uso de materiales compatibles con los materiales que serán restaurados es de suma importancia.

Una de las técnicas de intervención para la restauración y conservación del patrimonio arquitectónico es el uso de morteros de cal que es un material tradicional en la construcción, fabricados a partir de materias primas cuidadosamente seleccionadas y que son típicas del lugar donde van a ser elaborados (Cazalla Vázquez, 2002).

Los morteros utilizados en edificios históricos deben cumplir con múltiples condiciones y exhibir diversas características, lo cual puede resultar complejo alcanzar y conciliar. En esencia, estos morteros deben garantizar una protección efectiva de los sustratos sobre los cuales se aplican, con el propósito de prevenir la aparición de procesos que puedan provocar su deterioro. De la misma manera, es imperativo que presenten una adecuada compatibilidad mecánica, física y química con las estructuras en las que se utilizan, al mismo tiempo que sus propias propiedades les permitan resistir su degradación, especialmente en situaciones donde las sales solubles puedan representar un desafío. (Faria et al., 2008).

El uso de morteros de cal se remonta a la época neolítica, y posteriormente, los egipcios y romanos perfeccionaron su preparación y uso. Con el fin de modificar ciertas propiedades de los morteros de cal, se empezaron a agregar aditivos naturales u orgánicos, como arcilla, puzolanas, huevo, mucílago de cactus, entre otros.

Los morteros cumplen dos funciones principales: proteger las fachadas expuestas al ambiente y unir los elementos de mampostería para que actúen como una unidad

monolítica. Sin embargo, su uso como conglomerante en obras comunes ha ido disminuyendo, y en la actualidad se utilizan principalmente en trabajos de restauración.

Entre las cualidades que deben tener los morteros de cal se encuentran la durabilidad, resistencia, elasticidad, facilidad de reemplazo y la capacidad de no sellar completamente las superficies de los elementos de mampostería para evitar la evaporación del agua retenida por capilaridad. Además, deben ser capaces de absorber deformaciones causadas por microsismos, hundimientos y cambios volumétricos.(Martínez et al., 2008)

La investigación relacionada en este trabajo de titulación presenta la manera de comportarse de los morteros de cal apagada con diferentes porcentajes de sustitución en peso de metacaolín, permitiendo encontrar un diseño con la dosificación adecuada que cumpla con características idóneas de resistencia a la compresión y durabilidad, utilizando materia prima propia de la región.

Cuando se incorpora el metacaolín (MK) a las mezclas de hormigón y morteros, se obtienen beneficios significativos, como el aumento de las resistencias mecánicas a compresión y flexión, mayor resistencia al ataque químico, disminución de la permeabilidad y la porosidad, prevención de la reacción álcali-árido y control del agrietamiento. Además, debido a su color blanco, mejora el aspecto del producto final. (Agredo, 2007).

Por lo tanto, de lo anteriormente expuesto, este aditivo puede ser utilizado para prolongar la vida útil de estructuras arqueológicas expuestas a ambientes agresivos.

1.1. Objetivo general

Diseñar un mortero de cal apagada que presenta como aditivo al metacaolín calcinado la arcilla caolinita sometida a 700°C analizando su calidad y comparando sus propiedades químicas y de resistencia a la compresión en los diferentes porcentajes de sustitución en peso y edades de curado.

1.2. Objetivos específicos.

1. Obtener metacaolín mediante el proceso de calcinación de la arcilla caolinita a una temperatura de 700°C.
2. Preparar cal apagada artesanalmente a partir de la hidratación de rocas caliza durante un periodo de 60 días.
3. Elaborar morteros con sustitución de la cal apagada por el aditivo metacaolín en porcentajes de remplazo en peso del 5%, 10% y 20% para edades de 28, 56 y 90 días.
4. Analizar la calidad de los morteros fabricados mediante ensayos de resistencia a la compresión acorde a la norma ASTM C109/C109M.
5. Realizar el ensayo de Termogravimetría y de Difracción de Rayos X, para el análisis químico y mineralógico.

1.3. Alcance

Conforme a la información expuesta y los objetivos mencionados anteriormente, se procedió a preparar los materiales conglomerantes y aditivos que formarán parte del mortero a partir de materias primas. De esta manera se elaboraron el metacaolín que fue obtenido calcinando una muestra de arcilla caolinita a una temperatura de 700°C. La preparación de la cal apaga se realizó de forma artesanal hidratando roca caliza en tanques de metal que puedan soportar altas temperaturas. El proceso de apagado duró aproximadamente 60 días.

A continuación, se procedió a fabricar los morteros con sustituciones de cal apagada por metacaolín en porcentaje de reemplazo en peso del 5%, 10% y 20%. Estos fueron ensayados en un tiempo de 28, 56 y 90 días, con el fin de generar resultados óptimos y

criterios confiables, de esta manera conseguir una dosificación óptima con porcentaje de sustitución en peso de la cal apagada por el metacaolín.

1.4. Marco teórico

1.4.1. Patrimonio cultural

El patrimonio cultural, en su sentido más amplio, es tanto un producto como un proceso que provee a las sociedades de un valioso conjunto de recursos heredados del pasado, se producen en el presente y se transfieren a las futuras generaciones en beneficio de todos.

Se considera como patrimonio aquellos elementos que poseen un valor simbólico y de identidad para un grupo o sociedad, cuya importancia se deriva de generaciones anteriores y, por lo tanto, requiere ser preservado, protegido o conservado. (Katherine, 2018)

Se creía que la prevención de un bien patrimonial solo era posible a través de la restauración. Resulta complicada la intervención en un edificio histórico por las diversas y singulares situaciones presentes en cada caso. Factores relacionados con materiales utilizados, diversas modificaciones e intervenciones realizados a lo largo del tiempo y el nivel deterioro, provocan que cada bien patrimonial sea único. (Cajas Ramírez, 2016)

1.4.2. Generalidades de Morteros de Cal

Un mortero se compone de diversos elementos artificiales combinados para su utilización en construcción, ya sea con un propósito estructural directo o para la unión o revestimiento de otros elementos de una edificación.

Podemos describir a los morteros antiguos que son interés arqueológico como una combinación de un aglomerante inorgánico (cal, yeso, arcilla, etc.), áridos y agua. En ocasiones, puede incluir otros aditivos orgánicos e inorgánicos con el propósito de mejorar sus características u otorgarles especificaciones adicionales. (Rodríguez Gordillo, 2006)

En la literatura se pondera la importancia de emplear morteros de cal en los procedimientos de restauración aplicados a bienes de relevancia histórico-artístico. Una de las ventajas de la cal en comparación con el cemento Portland radica en la reducida presencia de sales solubles, esta característica evita ocasionar daños significativos proveniente de ciclos de cristalización e hidratación.

Desde el punto de vista químico, mecánico y estructural, los morteros de cal ofrecen una mayor compatibilidad con la mayoría de las estructuras antiguas. (Rodríguez-Navarro et al., 1998).

1.4.3. Piedra Caliza

La piedra caliza es un recurso natural cuyo componente principal es la calcita, dolomita y aragonito, junto con diversas cantidades de impurezas. En la naturaleza existe gran disponibilidad de la piedra caliza pero su pureza cambia dependiendo de la ubicación en la que se encuentre. (Guevara et al., 2018)

La piedra caliza es una materia prima esencial para industrias, incluido la elaboración de cal viva al someter la piedra a un proceso de descomposición térmica a temperaturas altas.

En la naturaleza existe una gran diversidad de depósitos de piedra caliza, no obstante, solo una pequeña de proporción de estos yacimientos tiene las propiedades químicas y físicas elementales para la producción de cal viva. (Oates, 2002)

Las propiedades básicas de la piedra caliza se detallan en la Tabla 1.1

Tabla 1.1 Propiedades básicas de la Piedra Caliza.

Nombre mineralógico	Fórmula química	Peso Molecular	Peso específico	Dureza	Forma de los cristales
		[gr/mol]	[gr/cc]	(escala de Mohs)	
Dolomita	CaCO ₃ .MgCO ₃	184.4	2.84	3.5 - 4.0	Romboédrica
Calcita	CaCO ₃	100.1	2.72	3.0	Romboédrica
Magnesita	MgCO ₃	84.3	3.00	3.5 - 4.5	Romboédrica

Fuente: (Guevara et al., 2018)

1.4.4. Cal viva

La cal desempeña un papel primordial como agente conglomerante en la producción de morteros tradicionales. Su ciclo de producción, desde la obtención de la materia prima en canteras hasta su aplicación en obras, comprende una serie de procesos establecidos. Inicia con la calcinación de la roca caliza para producir cal viva, la cual es posteriormente apagada con agua para obtener cal apagada. Este último componente, al hacer en contacto con el agua, experimenta una transformación en calcita. Este ciclo de la cal es un procedimiento crucial que garantiza la obtención y utilización adecuada de la cal en la formulación de morteros. (Guevara et al., 2018)

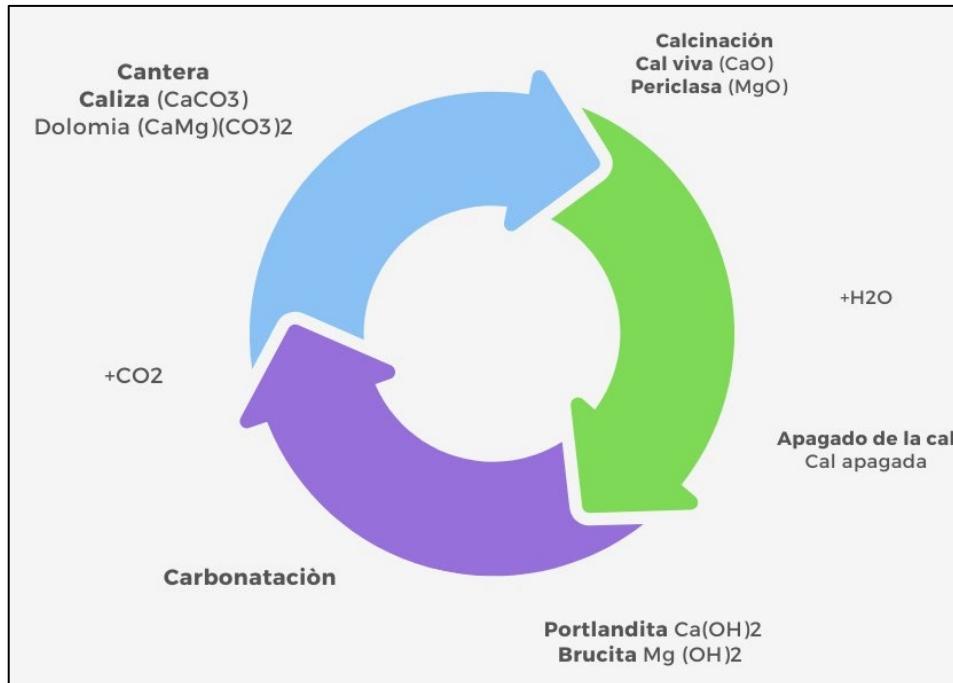


Figura 1.1 Ciclo de la cal.

Fuente: (Guevara et al., 2018)

Elaborado por: Carlos Córdor

En aplicaciones estructurales, es imprescindible que la cal viva sea sometida previamente al proceso de apagado antes de su uso. El método utilizado para apagar la cal desempeña un papel importante en la determinación de la calidad del producto final.

Las diferentes clases de cales presentan variaciones significativas en su comportamiento al hacer en contacto con el agua. Una cuidadosa supervisión durante el proceso de apagado puede generar amplios beneficios al garantizar la producción en mayor cantidad y mejor calidad de la masilla resultante.

Para determinar la forma adecuada de apagar un lote de cal, se sugiere realizar pruebas con una pequeña porción de muestra y observar su desempeño. En vista de que distintos lotes de cal, incluso de la misma marca pueden presentar ligeras variaciones y las condiciones ambientales pueden ejercer una influencia decisiva al momento del apagado, es recomendable probar cada lote utilizado. (NTE INEN 248, 2010)

1.4.5. Cal apagada

Cuando la cal viva entra en contacto con el agua, desencadena un proceso de hidratación, durante esta etapa, el agua reacciona con los óxidos presentes en la cal, generando una reacción exotérmica intensa que libera aproximadamente 950 kJ/kg de calor. Además, se produce una alteración en el pH del agua, aumentando su alcalinidad a un valor de 12.6. De igual manera se observa un notable incremento de volumen, la transformación de óxido de calcio en hidróxido cálcico resulta de un 90% de aumento en volumen, mientras que el hidróxido de magnesio aumenta aproximadamente 117 % en volumen. (Chatterji, 1995)

El procedimiento de apagado se lo realiza de acuerdo con las indicaciones suministradas por el fabricante. Cuando dichas instrucciones no son entregadas se procede de la siguiente manera:

- Apagado Rápido: Es fundamental añadir siempre la cal al agua, evitando el proceso inverso. Se recomienda contar con suficiente cantidad de agua para asegurar que toda la cal quede completamente cubierta. Además, es necesario mantener una supervisión constante del proceso de apagado, en el momento que se observe la liberación de vapor, se debe remover la mezcla de forma rápida y agregar suficiente cantidad de agua para detener el vapor. Se puede utilizar una cantidad excesiva de agua para tratar este tipo de cal.
- Apagado medio: La incorporación de cal se realiza sumergiendo aproximadamente la mitad de la cal en agua. Se recomienda remover si se observa la liberación de vapor, en caso de ser necesario, añadir una pequeña cantidad de agua de manera gradual para evitar que la mezcla se seque. Es importante tener precaución de no agregar más agua de la necesaria.
- Apagado lento: Añadir la cantidad adecuada de agua para lograr un completo humedecimiento de la cal. Hasta que haya iniciado la reacción dejar reposar, a continuación, agregar agua poco a poco para evitar enfriar la masa. Evitar remover hasta que el proceso de apagado este casi completo. En ambiente frío, es preferible utilizar agua caliente, si no es posible, se puede cubrir el recipiente para mantener el calor. (NTE INEN 248, 2010)

1.4.6. Arena normalizada

Es una arena de sílice, mayormente compuesta por granos de cuarzo prácticamente puros y de forma naturalmente redondeada. La arena 20-30, por su parte, se clasifica como aquella que puede pasar a través del tamiz N°20 (850µm) y ser retenida por el tamiz N°30. (600µm). (ASTM C778, 2021)

Las características de la arena normalizada establecidas por la norma (NTE INEN 873, 2017) se resumen en la Tabla 1.2

Tabla 1.2 Requisitos Arena Normalizada.

Características Gradación, porcentaje pasante del tamiz	Arena 20-30
1.18 mm (N°16)	100
850 µm (N°20)	85 a 100
600 µm (N°30)	0 a 5
Diferencia en el contenido de aire en morteros elaborados con área lavada y sin lavar, % max. de aire	2.0
Fuente de arena	Ottawa, IL o LeSuer, MN

Fuente: NTE INEN 873, 2017

Elaborado por: Carlos Córdor

1.4.7. Agua normalizada

El agua tiene un rol fundamental en la preparación de morteros, ya que es responsable de activar las cualidades cementantes durante la mezcla en estado fresco y en el proceso de curado. Además, influye en la plasticidad y resistencia a la compresión, incluso afecta aspectos como el fraguado, la retracción por secado, la carbonatación, la corrosión, entre otros factores. En general, se considera adecuado utilizar agua cuyo valor de pH oscile entre 6.0 y 8.0, e incluso llegue hasta 9.0, siempre y cuando esté exenta de sustancias orgánicas y no pasea características salinas. (Neville, 1995)

La norma (NTE INEN 1108, 2020) especifica la aplicación de agua potable de servicio público para la elaboración de morteros.

1.4.8. Caolín

Es una arcilla que proviene de rocas constituidas por feldespatos. Es un material de aspecto blanco, amarillento o gris, no tiene mucha plasticidad, se seca fácilmente y resiste altas temperaturas. Su composición química es muy compleja, por lo que se le adjudica la fórmula del mineral que se encuentra en mayor proporción, que es la caolinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$).

La caolinita es un mineral presente en el caolín, sin embargo, se lo puede encontrar en otros tipos de arcillas. El término caolinita se deriva del vocablo chino Kau-Ling, cuyo significado es cumbre o cordillera alta, lugar donde se realizaba su extracción a partir del siglo VII D.C. para la producción de porcelana

El caolín por otra parte es un término que describe a la arcilla china, la cual proviene de la roca caolín por arrastre artificial y sedimentación. Esta roca está compuesta por una mezcla natural de caolín, cuarzo, mica y otros minerales

El caolín se utiliza en la elaboración de cerámicos, como material refractario y en la producción de cementos y hormigones. (Bartolomé, 1997).

Tabla 1.3 Propiedades Físicas - Caolín.

Color	Blanco, gris o amarillento
Aspecto	Untuoso al tacto
Brillo	Terroso mate o nacarado cuando es cristalino
Raya	Blanca
Densidad	2.40 - 2.64 g/cm ³
Dureza (escala de Mohs)	2 - 2.5

Fuente: (Bartolomé, 1997)

Elaborado por: Carlos Córdor

1.4.9. Metacaolín

Es un variante deshidratada y calcinada del mineral arcilla caolinita. Durante el proceso de calcinación, la arcilla de caolín se somete a altas temperaturas, lo cual elimina la humedad y la cristalización. La temperatura requerida para alcanzar este estado generalmente oscila entre 600°C y 800°C. Como resultado se obtiene una puzolana altamente reactiva que se puede emplear como un aditivo cementante adicional.

A temperaturas inferiores a 700°C, se produce metacaolín menos reactivo con un mayor contenido de caolín residual, mientras que a temperaturas superiores a 850°C ocurre una

cristalización y disminuye la reactividad. Para acelerar el proceso de calcinación, se utilizan hornos que reducen el tiempo necesario para este procedimiento. (Sabir et al., 2001)

El metacaolín, en sí mismo, no posee propiedades cementantes. No obstante, debido a su elevada área superficial, es capaz de reaccionar con hidratos de calcio, sodio y potasio, así como con yeso o cemento. El metacaolín es reconocido por su capacidad para mejorar la resistencia, durabilidad y maleabilidad del concreto. (Ramachandran et al., 2002)

Los requisitos químicos acorde a la norma (ASTM C618, 2023) se resumen en la Tabla 1.4

Tabla 1.4 Requisitos Químicos - Metacaolín

REQUERIMIENTOS QUÍMICOS	CLASE		
	N	F	C
Dióxido de silicio (SiO ₂) más óxido de aluminio (Al ₂ O ₃) más óxido de hierro (Fe ₂ O ₃), min	70.0	50.0	50.0
Óxido de calcio (CaO), %	Solo reportar	18.0 máx	> 18.0
Trióxido de azufre (SO ₃), máx., %	4.0	5.0	5.0
Contenido de humedad, máx., %	3.0	3.0	3.0
Perdida por ignición, máx., %	10.0	6.0	6.0

Fuente: (ASTM C618, 2023)

Elaborado por: Carlos Córdor.

CAPITULO 2

2. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

La metodología usada en este estudio fue de carácter experimental, ya que se llevará a cabo una valoración tanto cualitativa como cuantitativa del desempeño de los morteros al reemplazar en cierta medida la cal apagada con el aditivo metacaolín en sustituciones en peso de 5%, 10% y 20%. Dicha evaluación se realizará para las edades de 28, 56 y 90 días. A través de este proceso, se obtendrá información acerca de la resistencia a la compresión y se llevará a cabo un análisis comparativo con los morteros patrones de cal apagada sin la presencia de metacaolín.

El estudio se centrará en realizar ensayos de laboratorio utilizando normativas estandarizadas tanto para las muestras de patrones de cal apagada como para las muestras con sustitución en peso de metacaolín.

Esta investigación tiene un enfoque aplicado, ya que para la restauración de estructuras arqueológicas se requiere preservar su valor patrimonial, utilizando morteros de cal apagada, mismos que deben alcanzar mayores niveles de resistencia a la compresión mediante la adición de aditivos puzolánicos, sustituyendo en peso a la cal apagada.

2.2. Materia prima

2.2.1. Cal

La cal es la forma física en la que se presenta el óxido de calcio (CaO).

La piedra caliza utilizada para el apagado fue proporcionada por el Instituto Nacional de Patrimonio Cultural.



Figura 2.1 Sacos de cal del Instituto Nacional de Patrimonio Cultural.

Elaborado por: Carlos Córdor

2.2.2. Arcilla caolinita



Figura 2.2 Arcilla Caolinita

Fuente: Procomin

Para el proyecto de investigación se utilizó la arcilla caolinita, que fue adquirida en PROCAMIN S.A.S. en sacos de 25 kilogramos, y cuenta con las siguientes características químicas y físicas proporcionadas por el fabricante, las cuales se detallan en la Tabla 2.1 y la Tabla 2.2

Tabla 2.1 Propiedades Químicas - Caolín.

Nombre	Caolín
SiO ₂	58 - 63%
Al ₂ O ₃	17 - 19.5%
MgO	1.5% máx.
CaO	3% máx.
Fe ₂ O ₃	2.5% máx.
% TiO ₂	0.18%
pH	4.8 - 5.2

Fuente: Procomin.

Elaborado por: Carlos Córdor

Tabla 2.2 Propiedades Físicas - Caolín.

Color	Crema-Amarillo
Humedad	3 % máx.
Fineza Hegman (ASTM D-1210)	4 1/4
Retención en malla tyler 35	5.0 % +/- 1.5
Tamaño medio de partícula	24 micrones
Gravedad específica	2.52

Fuente: Procomin.

Elaborado por: Carlos Córdor

2.2.3. Arena de Sílice Normalizada



Figura 2.3 Arena de Sílice Normalizada.

Elaborado por: Carlos Córdor

La información acerca del agregado fino que se utilizó en el estudio están descritas por U.S. Silica Company, quien proporciona la respectiva ficha técnica de la arena de sílice 20-30, tal como se muestra en la Tabla 2.3, la Tabla 2.4 y la Tabla 2.5.

Tabla 2.3 Granulometría - Arena normalizada

Tamiz		Valores Estándar		
		% Retenido		% Pasante
N°	mm	Individual	Acumulado	Acumulado
16	1.18	0.00	0.00	100.00
20	0.85	1.00	1.00	99.00
30	0.60	97.00	98.00	2.00
Bandeja		2.00	100.00	0.00

Fuente: U.S. Silica Company.

Elaborado por: Carlos Córdor

Tabla 2.4 Características - Arena Normalizada

pH	7
Color	Blanco
Mineral	Cuarzo
Duerza (Mohs)	7
Punto de fusión (°F)	3100
Gravedad específica	2.65
Forma de la partícula	Redondo

Fuente: U.S. Silica Company

Elaborado por: Carlos Córdor

Tabla 2.5 Propiedades Físicas - Arena Normalizada.

Análisis Químico		%
SiO ₂	óxido de silicio	99.8
Fe ₂ O ₃	óxido de hierro	0.02
Al ₂ O ₃	óxido de aluminio	0.06
TiO ₂	óxido de titanio	0.01
CaO	óxido de calcio	<0.01
MgO	óxido de magnesio	<0.02
Na ₂ O	óxido de sodio	<0.03
K ₂ O	óxido de potasio	<0.04
LOI	Perdida por ignición	0.1

Fuente: U.S. Silica Company

Elaborado por: Carlos Córdor

2.2.4. Arena



Figura 2.4 Arena de Pifo.

Elaborado por: Carlos Córdor.

El agregado fino que se empleó en la realización de los morteros fue extraído de la cantera de Pifo, su caracterización se realizó en base a las normas (ASTM C29, 2017; ASTM C40, 2020; ASTM C127, 2016; ASTM C136M, 2020) y se resume en la Tabla 2.6.

Tabla 2.6 Caracterización - Arena de Pifo.

Densidad SSS	2.46
Absorción [%]	3.35
Densidad seca Suelta [Kg/m ³]	1545
Densidad seca Compactada [Kg/m ³]	1694
Impurezas Orgánicas	0

Elaborado por: Carlos Córdor

2.2.5. Agua

Para el presente estudio se empleó el uso de agua, abastecida por la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento (EPMAPS).

2.3. Instalaciones utilizadas para los ensayos

El trabajo experimental del estudio se realizó dentro de las siguientes instalaciones, ubicadas dentro de la Escuela Politécnica Nacional.

- Laboratorio de Ensayo de Materiales, Mecánica de Suelos y Rocas (LEMSUR).
- Laboratorio Docente de Ingeniería Ambiental (LDIA).

- Centro de Investigaciones y Control Ambiental (CICAM).
- Laboratorio de Materia Condensada, Departamento de Física.

2.4. Preparación de materiales y ensayos de laboratorio

2.4.1. Apagado de la cal

El apagado de la cal se realizó por el método descrito en el punto 1.4.5 apagado lento para ser utilizada luego de 60 días.

Materiales

- Piedra caliza
- Agua

Equipo

- Tanque metálico
- Barra de madera

Procedimiento

- Colocar la piedra caliza dentro del tanque metálico.
- Verter el agua en una proporción de 2 partes de agua por 1 parte de Cal en volumen.
- Mover la mezcla para que el agua puede tener contacto.
- Tapar herméticamente el tanque durante el periodo de apagado establecido.
- Verificar cada cierto tiempo que la lechada tenga un espejo de agua.

2.4.2. Preparación Metacaolín

La reactividad puzolánica del caolín se ve afectada por la temperatura de calcinación, siendo más reactiva cuando se calcina a temperaturas que causan la pérdida de hidroxilos y el colapso de su estructura.

La temperatura óptima de calcinación para obtener la máxima resistencia en los morteros de cal y metacaolín es de 700°. (Sabir et al., 2001)

Para acelerar el proceso de calcinación, se utilizaron hornos, reduciendo el tiempo necesario, descrito a continuación:

Materiales

- Arcilla caolinita

Equipo

- Balanza
- Recipiente metálico
- Horno de Mufla
- Estufa
- Fundas plásticas herméticas



Figura 2.5 Horno de Mufla

Elaborado por: Carlos Córdor.

Procedimiento

- Colocar la arcilla caolinita dentro del recipiente metálico y pesar. Se debe tener en cuenta que el recipiente metálico debe soportar la temperatura de exposición.
- Calentar el horno de mufla a una temperatura de 700°C.
- Introducir con mucho cuidado el recipiente dentro del horno de mufla y dejar expuesto durante 2 horas.

- Terminado el proceso, retirar cuidadosamente el recipiente y dejar enfriar dentro de la estufa.
- Cuando el recipiente haya disminuido su temperatura, pesar la muestra.
- Colocar la muestra dentro de fundas herméticas.



Figura 2.6 Muestras de metacaolín

Elaborado por: Carlos Córdor.

2.4.3. Preparación de especímenes cúbicos de morteros de cal con sustitución en peso de metacaolín.

2.4.3.1. Dosificación

La dosificación utilizada en los patrones se fundamenta en la norma (NTE INEN 488, 2009), detallada a en la Tabla 2.7. La proporción entre agua y cementante debe ser de 0.485.

Tabla 2.7 Dosificación - Morteros Patrones

DOSIFICACIÓN PARA ESPECÍMENES CÚBICOS			
N° Cubos	3	6	9
Cal, g	250	500	740
Arena, g	687.5	1375	2035
Agua, g	121	242	359

Fuente: (NTE INEN 488, 2009)

Los morteros con sustitución en peso de metacaolín tendrán la dosificación descrita en la Tabla 2.8.

Tabla 2.8 Dosificación - Morteros con Metacaolín

DOSIFICACIÓN PARA ESPECÍMENES CÚBICOS CON METACAOLÍN			
N°	6	6	6
Porcentaje de Metacaolín	5%	10%	20%
Cal, g	475	450	400
Metacaolín, g	25	50	100
Arena, g	1375	1375	1375
Agua, g	450	460	490

Elaborado por: Carlos Córdor

2.4.3.2. Elaboración de la mezcla

Conforme a la norma vigente (NTE INEN 155, 2009) se efectuó la mezcla para elaborar los especímenes, que detalla lo siguiente:

Materiales

- Arena
- Cal apagada
- Agua
- Metacaolín

Equipos

- Mezcladora
- Recipiente para mezclado
- Balanza
- Paleta
- Espátula



Figura 2.7 Mezcladora.

Elaborado por: Carlos Córdor.

Procedimiento

- Preparar la mezcladora colocando la paleta.
- Colocar la cal y el agua dentro del recipiente, si se requiere la sustitución en porcentaje en peso de metacaolín agregar según las dosificaciones especificadas.
- Ensamblar el recipiente en la mezcladora y encender el equipo.
- Configurar la mezcladora para mezcla de morteros y dar inicio.
- El equipo empieza con una mezcla lenta, transcurridos 30 segundos, agregar el árido en un intervalo de 30 segundos, luego se aumenta la velocidad de mezclado.
- Transcurrido el tiempo, la mezcladora se detiene por 90 segundos. Retirar el recipiente y con la espátula, empujar el mortero pegado a las paredes del recipiente hacia abajo.
- Finalizar el proceso de mezclado a una velocidad media durante 60 segundos.

2.4.3.3. Determinación de flujo

Este ensayo se rige a la normativa vigente (NTE INEN 2502, 2009).

Materiales

- Pasta de mortero preparada

Equipo

- Mesa de Flujo
- Molde cónico
- Apisonador
- Espátula



Figura 2.8 Mesa de flujo y molde cónico.

Elaborado por: Carlos Córdor.

Procedimiento:

- Eliminar cualquier residuo sobre la mesa de flujo.
- Colocar el molde cónico en el centro de la mesa.
- Verter una capa de la pasta dentro del molde cónico y compactar con el apisonador 20 veces.
- Añadir nuevamente una capa de pasta, llenado por completo el molde y compactar con el apisonador 20 veces.

- Enrasar con la espátula y retirar el residuo de pasta sobre el molde y la mesa de flujo.
- Retirar el molde y enseguida realizar 25 golpes de la mesa en un periodo de quince segundos.
- Finalmente, con la ayuda de un instrumento de medición, tomamos las dimensiones de al menos 4 diámetros equidistantes, para determinar el flujo de la pasta.

Cálculos

$$\%f = \frac{D_f - D_i}{D_i} \cdot 100$$

Donde:

D_i; Diametro inicial (base del molde)

D_f; Diametro promedio final

%_f; Porcentaje de flujo

2.4.3.4. Elaboración de cubos

Materiales

- Pasta de mortero

Equipo

- Moldes cúbicos: deben tener aristas de 50 mm, y el ensamble debe ser perfecto.
- Apisonador
- Espátula

Procedimiento

El encofrado de los morteros se debe realizar dentro de un periodo de tiempo no mayor a 2.5 minutos luego de finalizar el proceso de mezclado. Los moldes deben estar previamente aceitados.

- Verter una capa de aproximadamente 25 mm de pasta en los compartimientos, compactar cada compartimento 32 veces con el apisonador. De acuerdo a la norma

(NTE INEN 488, 2009), este proceso se debe realizar en 4 rondas, en cada una se compacta 8 veces tal como se indica en la Figura 2.9.

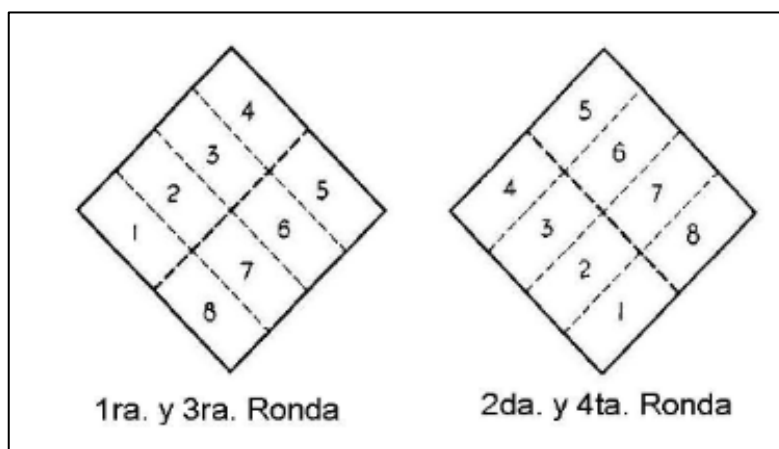


Figura 2.9 Orden de apisonado al moldear las mezclas.

Fuente: (NTE INEN 488, 2009)

- Finalizado la compactación de la primera capa, rellenar por completo cada compartimento y volver a realizar el proceso de compactación.
- Enrasar y limpiar los bordes del molde utilizando la espátula.

2.4.4. Resistencia de morteros a compresión

Materiales

- Muestras cubicas de mortero

Equipos

- Equipo de compresión
- Calibrador



Figura 2.10 Maquina de compresión.

Elaborado por: Carlos Córdor.

Procedimiento

- Someter los cubos al ensayo de compresión
- Limpiar la muestra hasta obtener una superficie seca, eliminando granos de la superficie.
- Medir una cara del cubo, no se debe medir la cara que no tuvo contacto con la superficie del molde, a continuación, medir la altura y pesar el espécimen.
- Colocar el espécimen sobre el centro de la placa del equipo de ensayo, la carga se debe aplicar sobre la cara medida previamente.
- Programar el equipo con 900 N/s de velocidad y anotar la carga máxima indicada.

Cálculos

$$f_m = \frac{P}{A}$$

Donde:

f_m; Resistencia a la Compresión (MPa)

P ;Carga maxima (N)

A: Area de la cara del cubo donde se aplica la carga (mm²)

2.4.5. Interrupción de la hidratación de los morteros

Materiales:

- Cubos previamente ensayados a compresión
- Papel filtro
- Éter dietílico
- Isopropanol

Equipo

- Balanza
- Mortero de porcelana
- Tamiz N°200
- Vaso de precipitación
- Embudo Büchner
- Matraz
- Bomba de vacío
- Horno
- Mascarilla para gases

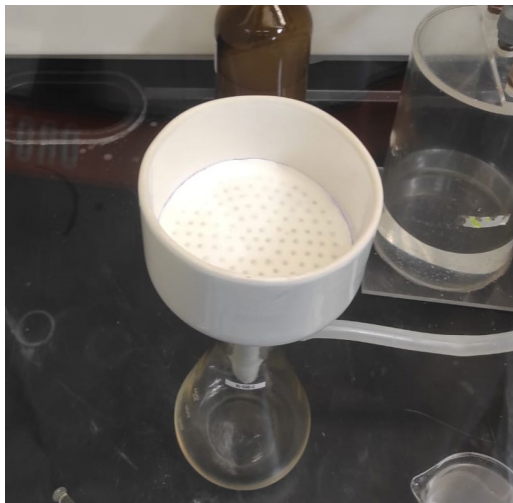


Figura 2.11 Embudo Büchner y Matraz

Elaborado por: Carlos Córdor

Procedimiento

- Triturar la muestra ensayada en el mortero de porcelana. Utilizar únicamente el núcleo de la muestra.
- Colocar la muestra en el tamiz N°200.
- En un vaso de precipitación, pesar 8 gramos del material pasante de tamiz N°200.
- Sumergir la muestra dentro de 100 mililitros de alcohol isopropílico durante 15 min.
- Montar el embudo Büchner en el matraz y conectar a la bomba de vacío dentro del extractor.
- Colocar el filtro asegurando que no existe fugas hacia el embudo, crear un vacío.
- Finalizado los 15 minutos, verter la muestra cuidadosamente sobre el filtro.
- Una vez filtrado la muestra, lavar el residuo con 10 ml de alcohol isopropílico volviendo a filtrar y posteriormente enjugar con 10 ml éter dietílico.
- Terminado la filtración, colocar el residuo y el papel filtro juntos en un recipiente y dejar secar en un horno a 40°C por aproximadamente 8 min.
- Colocar la muestra seca en un frasco hermético para su posterior utilización en los ensayos de Difracción de Rayos X.



Figura 2.12 Desecador con muestras secas.

Elaborado por: Carlos Córdor.

2.4.6. Difracción de Rayos X

Para describir la mineralogía de los especímenes de estudio, realizamos el ensayo de Difracción de Rayos X (DRX).

Materiales

- Portamuestra estándar
- Muestra preparada del proceso para la detención de la hidratación
- Cucharilla química con espátula
- Portaobjetos



Figura 2.13 Portamuestra estándar, cucharilla química, portaobjetos

Elaborado por: Carlos Córdor.

Equipo

- Equipo de DRX

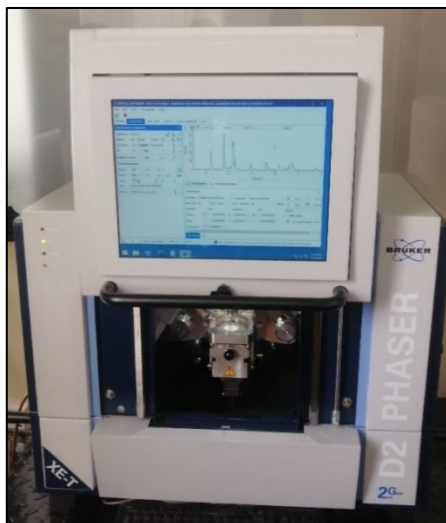


Figura 2.14 Equipo de Difracción de Rayos X

Elaborado por: Carlos Córdor.

Procedimiento

- Colocar la muestra en el orificio del portamuestra circular, llenarlo y enrasar de forma homogénea con la ayuda de la espátula.
- Aplastar la muestra con el portaobjetos con la finalidad de compactar la muestra. Después de algunos segundos retirar con cuidado el portaobjetos y poner el porta muestras en del equipo de DRX
- Programar la maquina con la siguiente data:
 - 2θ : 10° - 50° con incremento de 0.02°
 - Paso: 0.25 s/paso
 - Apertura del detector: 5°
 - Sin rotación de la muestra durante la adquisición del difractograma

CAPITULO 3

3. RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1 Resultados

En este capítulo, se exponen los resultados y análisis del comportamiento mecánico de los distintos morteros con diferentes reemplazos en dosificación de cal con metacaolín, determinando la resistencia a compresión, validando la metodología previamente descrita. De esta manera podemos apreciar la influencia de estas modificaciones en la resistencia e identificar la dosificación que manifieste las propiedades más sobresalientes.

3.1.1. Mortero Patrón con Arena Ottawa y Patrón con Arena Pifo

3.1.1.1 Flujo

El flujo que se obtuvo para los morteros patrón de las mezclas tanto con arena de Ottawa como las muestras con la arena de Pifo fue de 110%; este valor se encuentra dentro del rango óptimo mencionado en la norma (NTE INEN 488, 2009).

Tabla 3.1 Determinación de Flujo – Patrones

DETERMINACIÓN DEL FLUJO			
Porcentaje de sustitución	D Inicial	Df Promedio	%
	[mm]	[mm]	
Patrón Ottawa	100	210	110
Patrón Pifo	100	210	110

Elaborado por: Carlos Cóndor

3.1.1.2 Resistencia a la Compresión

Se determinaron los valores de resistencia a la compresión mediante el cálculo del promedio obtenido de los morteros patrones a las edades de curado de 28, 56 y 90 días, con el propósito de construir la curva de endurecimiento que relaciona la edad y la resistencia a la compresión.

Tabla 3.2 Resistencia a la Compresión – Patrones.

DESCRIPCIÓN	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN [Mpa]		
	28 DÍAS	56 DÍAS	90 DÍAS
PATRÓN OTAWA	0.48	0.58	0.57
PATRÓN PIFO	0.51	0.67	0.84

Elaborador por: Carlos Córdor

3.1.1.3 Difracción de Rayos X – 90 días

En la Figura 3.1 y Figura 3.2 se exhibe la intensidad de minerales presentes en los morteros patrones a la edad de 90 días, para posteriormente realizar una comparación de la mineralogía de cada patrón con los morteros con adición de metacaolín a la misma edad de curado. Se destaca la presencia de Portlandita, Cuarzo y Calcita, donde se evidencia una mayor intensidad de calcita en ambos casos.

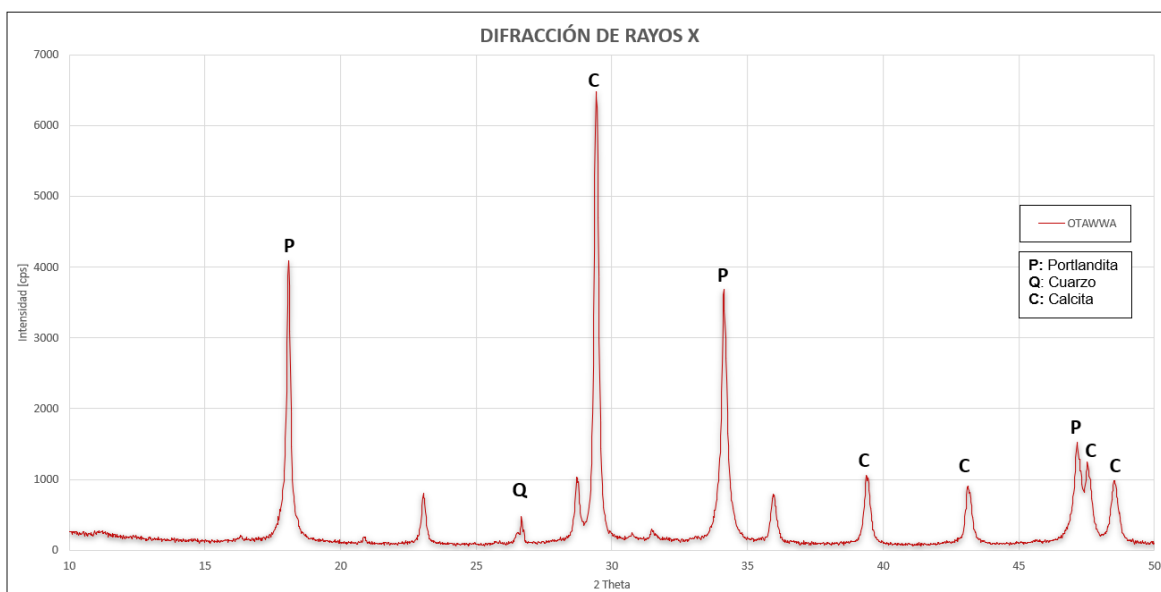


Figura 3.1 Difracción de Rayos X - Mortero patrón Ottawa a la edad de 90 días.

Elaborador por: Carlos Córdor

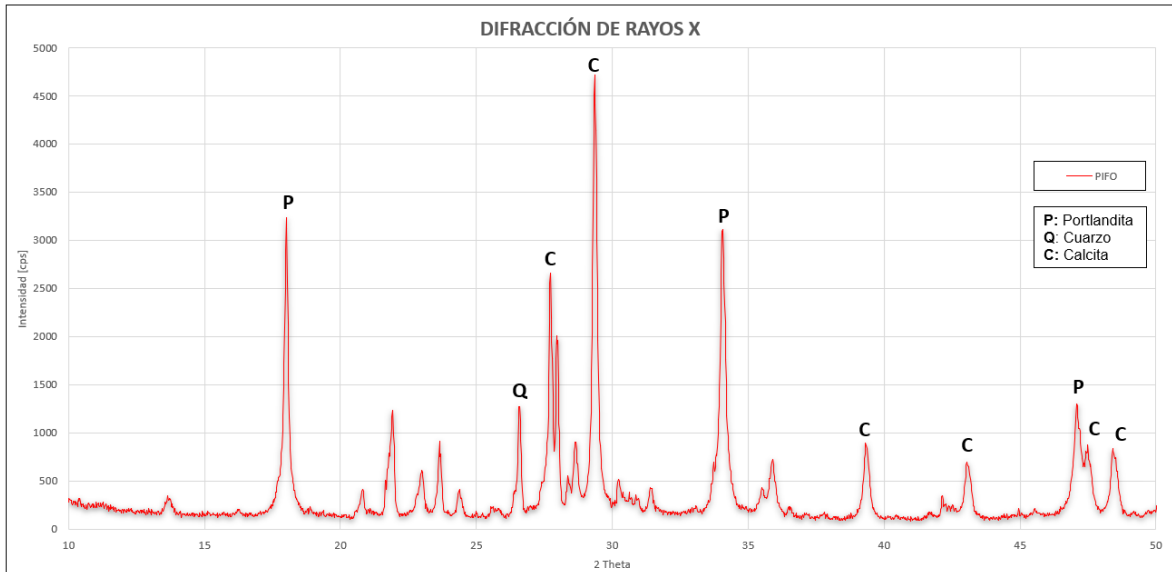


Figura 3.2 Difracción de Rayos X - Mortero Patrón Pifo a la edad de 90 días.

Elaborador por: Carlos Córdor

3.1.2. Morteros con Metacaolín

3.1.2.1. Resistencia a la Compresión

La Tabla 3.3 presenta los valores de resistencia a la compresión que se obtuvieron de los morteros en los diferentes porcentajes de adición de metacaolín a la edad de 28, 56 y 90 días.

Tabla 3.3 Resistencia a la Compresión- Morteros con Metacaolín.

DESCRIPCIÓN	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN [Mpa]		
	28 DÍAS	56 DÍAS	90 DÍAS
MK 5%	0.76	0.87	0.92
MK 10%	1.06	1.16	1.25
MK 20%	2.83	2.89	2.50

Elaborado por: Carlos Córdor

A partir de los resultados obtenidos, es posible construir la curva de resistencia a la compresión comparando los valores de los morteros patrones (Tabla 3.2) y los morteros en los cuales se incorporó metacaolín (Tabla 3.3). En la Figura 3.3 se evidencia claramente como las curvas de los morteros con la adición de metacaolín superan a los morteros patrones. Al efectuar un análisis detallado entre los morteros patrón con cada mortero con

porcentaje de sustitución de metacaolín (5%,10% y 20%), tenemos que el mortero con adición del 5 % de metacaolín, a los 28 días alcanza 1.57 veces la resistencia del mortero patrón con arena de Ottawa y 1.48 veces la resistencia del mortero patrón con arena de Pifo; a los 56 días, 1.49 y 1.30 veces la resistencia de los patrones, a los 90 días aumenta 1.61 y 1.1 veces la resistencia de los morteros patrones a la misma edad. Para el caso de mortero con adición de 10 % de metacaolín, a los 28 días alcanza 2.20 veces la resistencia del mortero patrón con arena de Ottawa y 2.07 veces la resistencia del mortero patrón con arena de Pifo; a los 56 días, 2.00 y 1.75 veces la resistencia de los patrones, a los 90 días aumenta 2.17 y 1.48 veces la resistencia de los morteros patrones. El caso del mortero con una sustitución del 20 % de metacaolín, el cual a los 28 días alcanza 5.88 y 5.33 veces la resistencia de los patrones Ottawa y Pifo; a los 56 días, 4.96 y 4.34 veces la resistencia de los patrones, a los 90 días aumenta 4.36 y 2.98 veces la resistencia de los morteros patrones a la misma edad. (Figura 3.4).

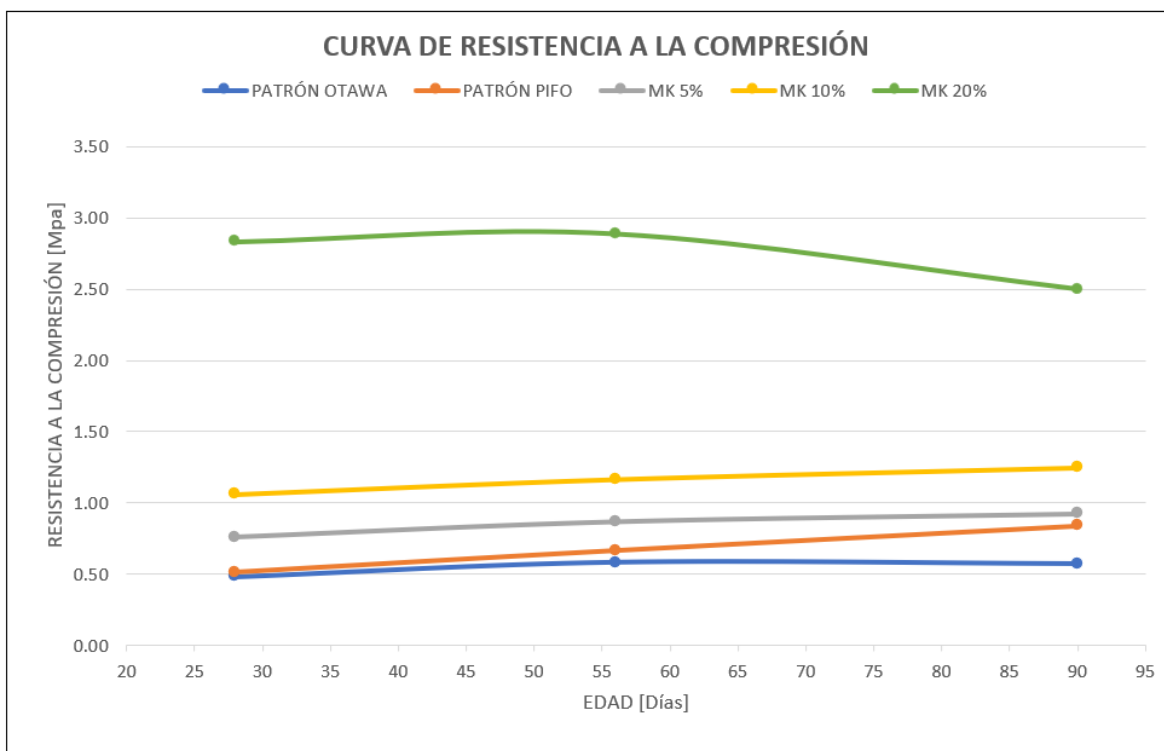


Figura 3.3 Curva de Resistencia a la Compresión - Morteros Patrones y Morteros con Metacaolín

Elaborado por: Carlos Córdor

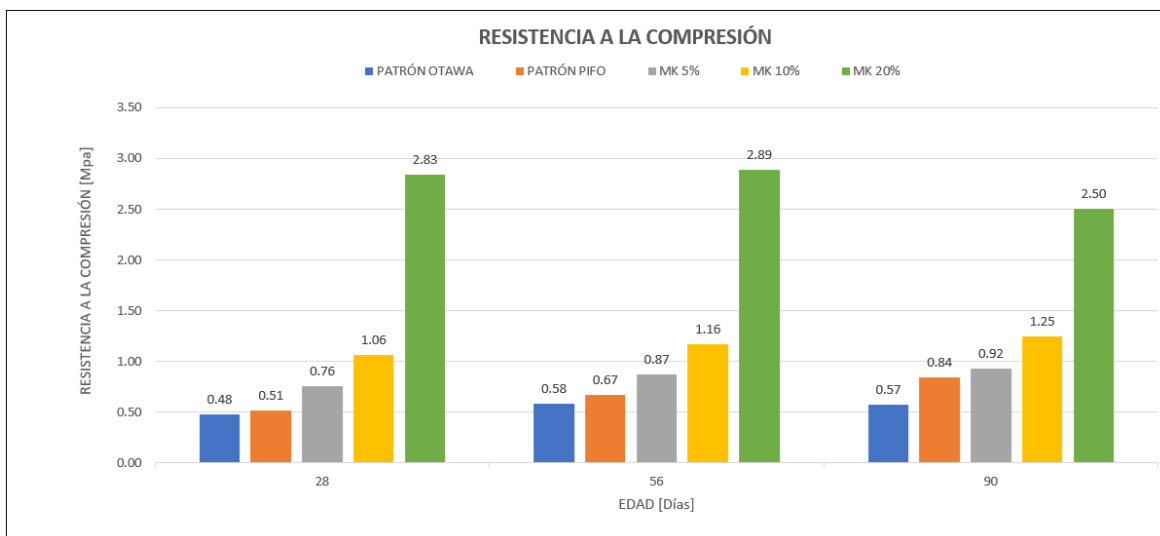


Figura 3.4 Comparación de resultados de la Resistencia a la Compresión entre Morteros Patrones y Morteros con Metacaolín.

Elaborado por: Carlos Cóndor

3.1.1.1. Flujo de Morteros con sustitución en peso de 5%, 10% y 20%

El flujo que se obtuvo de los morteros con porcentajes diferentes de sustitución se detalla en la Tabla 3.4 Determinación de Flujo - Morteros con Metacaolín., estos valores se encuentran en el rango correspondiente a la norma NTE INEN 488, 2009.

Tabla 3.4 Determinación de Flujo - Morteros con Metacaolín.

DETERMINACIÓN DEL FLUJO			
Porcentaje de sustitución	D Inicial	Df Promedio	%
	[mm]	[mm]	
MK 5%	100	209.6	109.6
MK 10%	100	210	110
MK 20%	100	208.4	108.4

Elaborado por: Carlos Cóndor

3.1.1.2. Densidad

Tabla 3.5 Densidad - Morteros Patrón y Morteros con Metacaolín.

DESCRIPCIÓN	DENSIDAD [g/cm ³]		
	28 DÍAS	56 DÍAS	90 DÍAS
PATRÓN OTAWA	1.63	1.63	1.63
PATRÓN PIFO	1.64	1.65	1.67
MK 5%	1.58	1.62	1.60
MK 10%	1.57	1.60	1.63
MK 20%	1.66	1.63	1.65

Elaborado por: Carlos Córdor

La tabla 3.5 expone un resumen de las densidades obtenidas de los morteros patrones y de los morteros con adición de metacaolín (5%, 10% y 20 %).

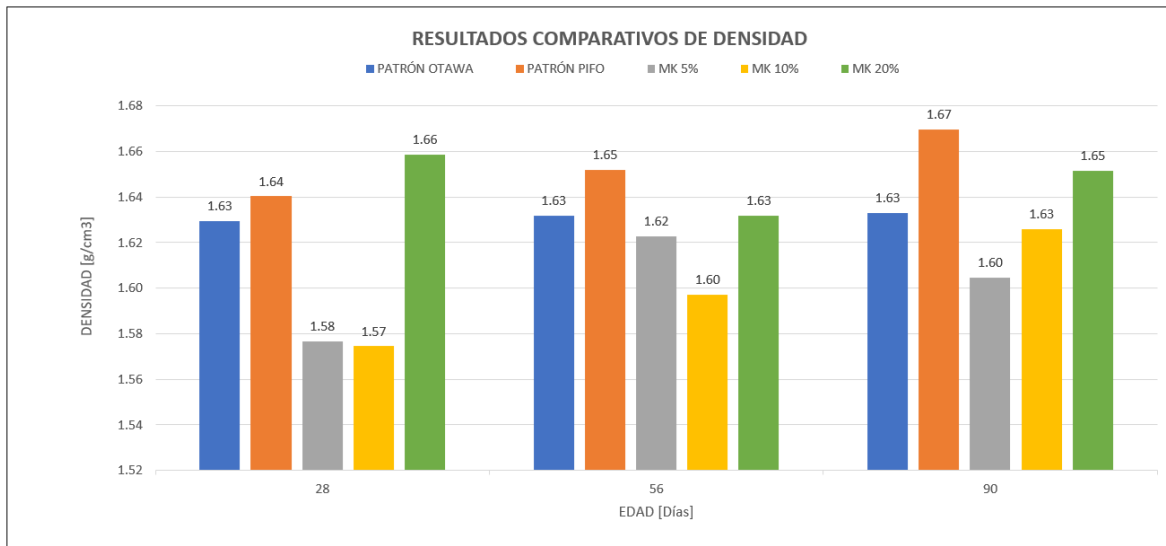


Figura 3.5 Comparación de densidades entre Morteros Patrones y Morteros con Metacaolín.

Elaborado por: Carlos Córdor

3.1.1.3. Difracción de Rayos X – 90 días

Se efectuó un análisis comparativo entre el mortero patrón con arena Ottawa y el mortero con arena Pifo, junto con los morteros de metacaolín y arena de Pifo en diferentes porcentajes de sustitución, evaluando su comportamiento a la edad de 90 días.

3.1.1.3.1. Patrón Ottawa – Metacaolín 5%, 10% y 20 % a la edad de 90 días.

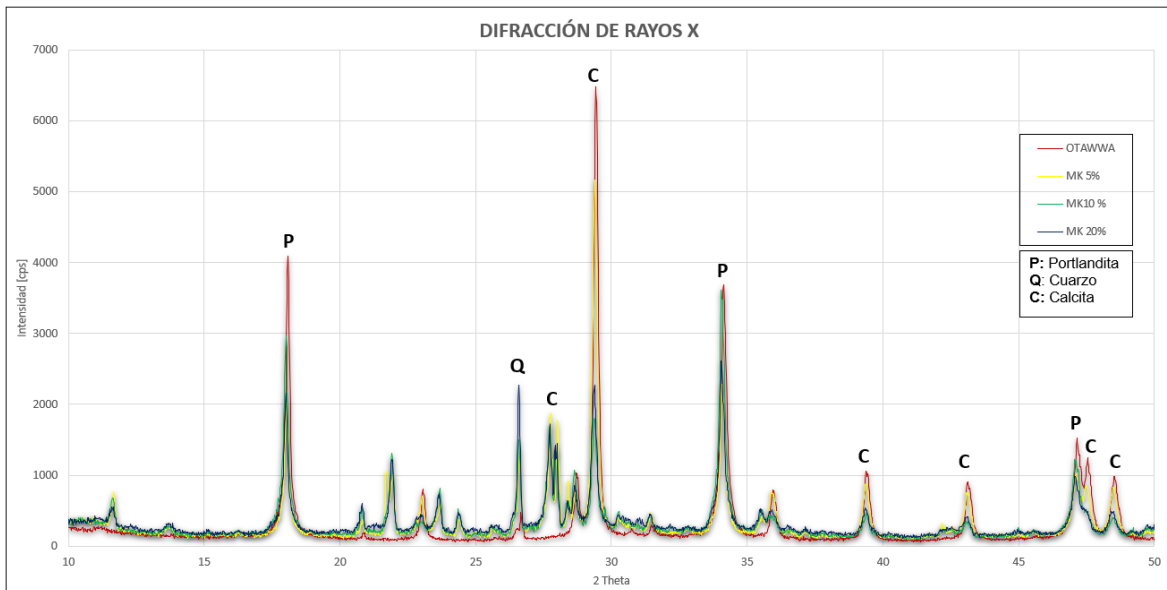


Figura 3.6 Difracción de Rayos X para mortero patrón Ottawa y metacaolín al 5%,10% y 20%, a la edad de 90 días.

Elaborado por: Carlos Córdor

Tabla 3.6 Resultados de Difracción de Rayos X - 90 días.

COMPUESTO	RANGO	PATRÓN OTTAWA	MK 5%	MK 10%	MK 20%
	2θ	[cps]	[cps]	[cps]	[cps]
P: PORTLANDITA	[15 - 20]	4092	2031	2967	2158
C: CALCITA	[20 - 30]	6475	5163	1798	2272
Q: CUARZO	[25 - 30]	474	1345	1497	2272
P: PORTLANDITA	[25 - 35]	3680	2283	3611	2618
C: CALCITA	[35 - 50]	1242	878	811	656
P: PORTLANDITA	[45 - 50]	1523	1018	1223	987

Elaborado por: Carlos Córdor

La Tabla 3.6 presenta el primer caso que resumen de los valores obtenidos mediante la Difracción de Rayos X tanto para el patrón Ottawa, así como en las sustituciones del 5%, 10% y 20% de metacaolín, evaluados a la edad de 90 días. Se evidencia que los valores de calcita presentan una intensidad de 6475 cps en el patrón, la cual se reduce hasta un 72% a medida que se añade metacaolín. La portlandita, conforme avanzan los días de curado, disminuye debido al proceso de carbonatación, y a la formación de C-S-H y C-A-

S-H. En el caso de metacaolín al 5% se reduce en un 50%. La situación difiere para el cuarzo puesto que experimenta un significativo aumento, incrementado su intensidad hasta alcanzar 2272 cps, cinco veces el valor que presenta el mortero patrón.

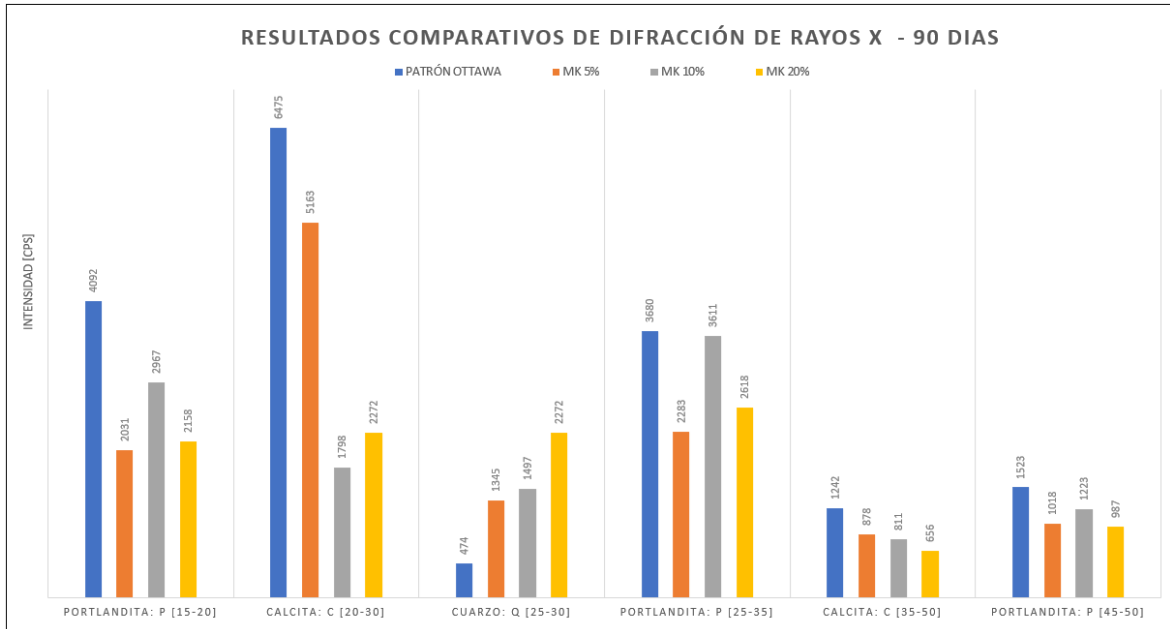


Figura 3.7 Cuadro comparativo de resultados de Difracción de Rayos X

Elaborado por: Carlos Córdor

3.1.1.3.2. Patrón Pifo – Metacaolín 5%, 10% y 20% a la edad de 90 días.

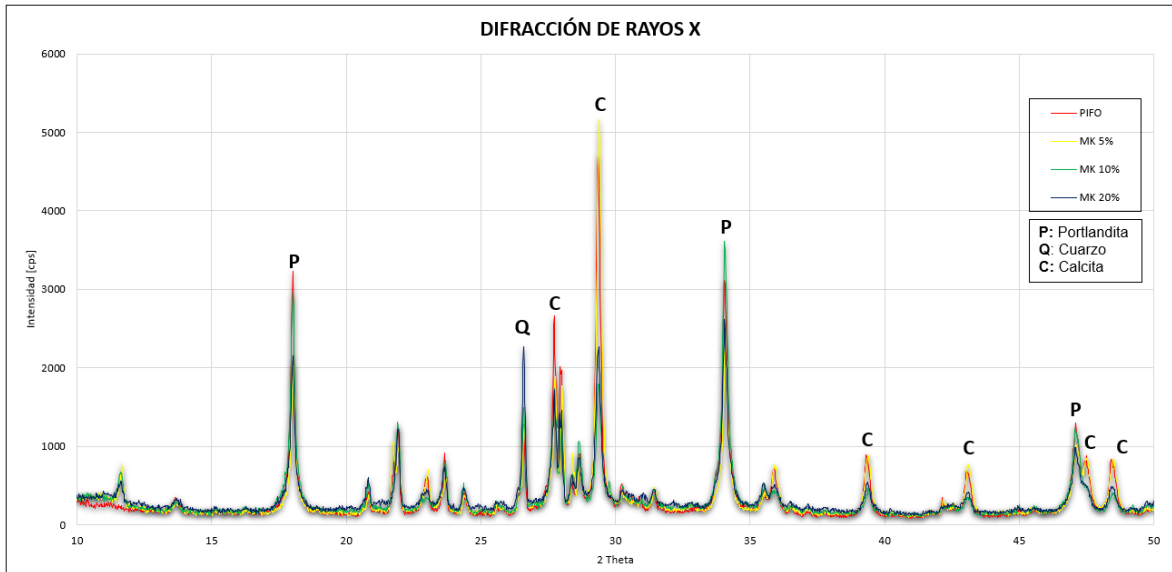


Figura 3.8 Difracción de Rayos X para mortero patrón Pifo y metacaolín al 5%,10% y 20%, a la edad de 90 días.

Elaborado por: Carlos Córdor

Tabla 3.7 Resultados de Difracción de Rayos X - 90 días.

COMPUESTO	RANGO	PATRÓN PIFO	MK 5%	MK 10%	MK 20%
	2θ	[cps]	[cps]	[cps]	[cps]
P: PORTLANDITA	[15 - 20]	3232	2031	2967	2158
C: CALCITA	[20 - 30]	4714	5163	1798	2272
Q: CUARZO	[25 - 30]	1273	1345	1497	2272
P: PORTLANDITA	[25 - 35]	3108	2283	3611	2618
C: CALCITA	[35 - 50]	892	878	811	656
P: PORTLANDITA	[45 - 50]	1301	1018	1223	987

Elaborado por: Carlos Córdor

De la misma manera la Tabla 3.7 presenta una síntesis de los valores de DRX, en este caso para el patrón Pifo y las diferentes sustituciones de metacaolín (5%,10% y 20%), examinados a la edad de 90 días. En relación con la calcita se observa una intensidad inicial de 4714 cps y aumenta un 10% con la adición de 5 % de metacaolín, para los porcentajes de sustitución restantes (10% y 20%) es similar al caso anterior puesto que reduce su intensidad a 1798 cps. La portlandita, aumenta un 16 % cuando se adiciona 10% de metacaolín y de igual manera se reduce para los demás porcentajes de sustitución. Por

su parte, el cuarzo no difiere del primer caso, su intensidad se eleva de 1273 cps (patrón Ottawa) a 2272 (metacaolín 20%), en los dos casos se evidencia un incremento significativo conforme aumenta el porcentaje de sustitución de metacaolín.

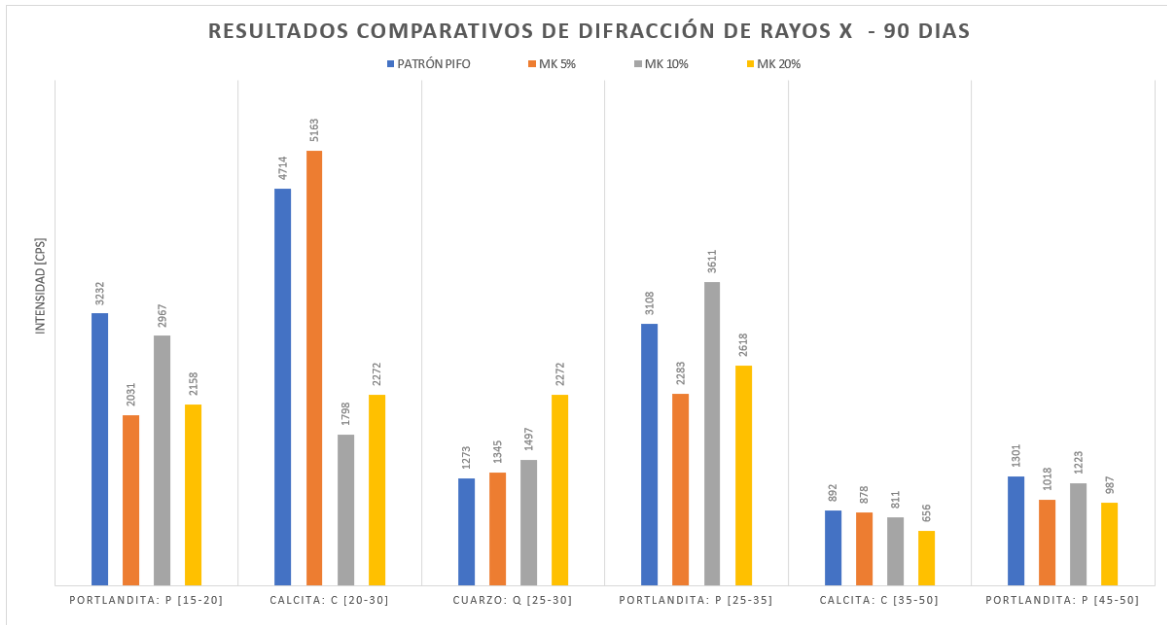


Figura 3.9 Cuadro comparativo de resultados de Difracción de Rayos X.

Elaborado por: Carlos Córdor

3.2 Conclusiones

- El presente proyecto nació como un apoyo para buscar una mezcla de cal viva y lograr un aumento de resistencia a la compresión, al ser una actividad de colaboración con el Instituto Nacional del Patrimonio Cultural (INCP), esta entidad estaba encargada de la ejecución del ensayo de termogravimetría planificado en los objetivos específicos planteados en este proyecto, pero no fue posible la realización del ensayo debido al mantenimiento del equipo para realizar el ensayo planificado.
- Se elaboró metacaolín mediante la calcinación de la arcilla caolinita a 700° C, este valor de temperatura se determinó como óptimo de acuerdo con la literatura revisada, para alcanzar las características más adecuadas del metacaolín para la ser utilizado en la elaboración de morteros. Estas propiedades mejoraron las limitaciones presentes en los morteros patrón (mortero con arena de Ottawa y morteros con arena de Pifo), la eficiencia de esta mejora está plenamente

evidenciada al observar los resultados de la resistencia a la compresión (Tabla 3.3), que demuestran un rendimiento superior en los morteros con metacaolín

- El proceso de apagado de la cal tuvo una duración de 60 días, durante los cuales se pudo evidenciar diversos momentos claves como la formación de la portlandita, la carbonatación, culminando en la obtención de una lechada. No obstante, el procedimiento con el cual se realizó el apagado no fue el más apropiado, ya que el producto no presentaba las características óptimas para el empleo inmediato en la elaboración de los morteros, por lo que tuvo que ser sometido a un tratamiento adicional, involucrando un secado a una temperatura de 40°C hasta lograr una consistencia menos acuosa y más adecuada para el propósito previsto.
- A través de los ensayos de compresión ejecutados acorde a la norma (ASTM C109M, 2021) para cubos de mortero, se determinó los valores de resistencia alcanzadas a la edad de 28, 56 y 90 días. En el caso del patrón Ottawa dichas resistencias fueron de 0.48, 0.58 y 0.57 [MPa] respectivamente, mientras que para el patrón Pifo, los valores correspondientes fueron de 0.51, 0.67 y 0.84 [MPa] en las edades mencionadas, de los morteros patrón se puede observar que al mezclar la cal apagada con la arena de Pifo se observa ya una mejora en la resistencia a la compresión, a los 28 días aumenta en un 6.29% la resistencia a compresión hasta un 46.51% a la edad de 90 días.
- Al analizar los valores de resistencia de los morteros reemplazando cal con metacaolín en porcentajes de 5%, 10% y 20%, que se constata en la Tabla 3.3, se logró construir una curva que relaciona la resistencia con el tiempo. En esta representación gráfica (Figura 3.3), se pone en evidencia que a medida que se incrementa el porcentaje de sustitución con metacaolín, la resistencia supera a la de los patrones, y esta tendencia tiende a incrementar progresivamente a lo largo del tiempo y a mayor porcentaje de metacaolín incluido en la mezcla, destacando el caso del mortero con un 20 % de metacaolín que exhibe un aumento significativo en su resistencia alcanzando un valor de 2.83 [MPa] a la edad de 28 días, este valor es 487.7% mayor a la resistencia del mortero patrón con arena de Ottawa y 452.9% mayor a la resistencia del mortero con arena de Pifo. A los 56 días alcanza un valor de 2.89 [MPa], 396.15% y 334.08% mayor a la resistencia de los morteros patrones con arena de Ottawa y arena de Pifo respectivamente, a la edad de 90 días la resistencia del mortero con 20 % de metacaolín alcanza un valor de 2.50 [MPa], que corresponde a un porcentaje de 336.22% la resistencia del mortero patrón con

arena de Ottawa y 197.73% mayor que la resistencia del mortero patrón con arena de Pifo.

- En el caso de la curva correspondiente al mortero con 20% de metacaolín presenta una tendencia a reducir su valor de resistencia después de los 56 días, en contraste con los otros morteros, cuya resistencia aumenta de manera progresiva a lo largo del tiempo. La presencia de esta irregularidad podría ser el resultado de diversos factores exógenos, tales como una mala compactación en una de las probetas del mortero o una inadecuada ejecución del ensayo de compresión.
- La combinación de cal y metacaolín demuestra ser viable para potenciar las propiedades mecánicas del mortero. Se destaca la dosificación que incorpora un 20 % de metacaolín, la cual revela un rendimiento óptimo. Sin embargo, es importante señalar que la resistencia del mortero, más allá de la influencia del metacaolín, también se encuentra directamente condicionada por la calidad de la cal viva utilizada, así como por el método empleado en su proceso de apagado.
- Los ensayos de Difracción de Rayos X presentados en la Figura 3.6 y Figura 3.8, reflejan la variación de los minerales presentes en los morteros, a medida que las mezclas contienen un mayor porcentaje de metacaolín, se observa que la portlandita desempeña un rol fundamental tanto en la carbonatación (formación de calcita) como en la reacción puzolánica (formación de productos de hidratación). Como resultado directo, se puede observar que la cantidad de portlandita disminuye al igual que la cantidad de calcita, ya que el área bajo las curvas con mayor porcentaje de metacaolín son menores.
- La velocidad de consumo de la portlandita se encuentra directamente vinculada con la velocidad temprana de la reacción puzolánica. Siguiendo esta premisa, se registró que, mientras la formación de calcita estuviera en curso, la portlandita continuaría disponible, perpetuando así la actividad de la reacción puzolánica.
- Como se observa en la Figura 3.5 las densidades de los morteros con metacaolín de 5% y 10% en todas las edades tienen una densidad menor a los morteros de arena de Pifo y Ottawa, a pesar de tener una resistencia a compresión mayor. La densidad a los 28 días del mortero con 20% de reemplazo es mayor que los morteros patrón y los morteros con reemplazo de 5% y 10%, pero a los 56 es igual a la densidad del mortero de Ottawa, pero menor al mortero con arena de Pifo, a los 90 días la densidad es mayor al mortero de Ottawa, pero menor al mortero con

arena de Pifo, vale la pena anotar que los valores son bastante cercanos variando en algunos casos en centésimas.

3.3 Recomendaciones

- Para asegurar un adecuado proceso de apagado de la cal, se recomienda adherirse rigurosamente a los procedimientos indicados por el proveedor, y en el caso de no contar con tales directrices, es aconsejable seguir las pautas establecidas por la normativa vigente NTE INEN 248, 2010.
- Cuando se trate de apagar múltiples lotes de cal viva, se sugiere llevar a cabo ensayos utilizando pequeñas muestras de cada lote. Esto se debe a que las características de los lotes no siempre son consistentes entre sí.
- Las probetas de cal fueron muy frágiles por lo que se recomienda realizar más de tres probetas para lograr resultados más precisos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agredo, J. T. (2007). INFLUENCIA DE LA COMPOSICIÓN MINERALÓGICA DE LOS CAOLINES SOBRE EL DESEMPEÑO DE MORTEROS ADICIONADOS CON MK.
- ASTM C29. (2017). Standard Test Method for Bulk Density («Unit Weight») and Voids in Aggregate.
- ASTM C40. (2020). Standard Test Method for Organic Impurities in Fine Aggregates for Concrete.
- ASTM C109M. (2021). Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. Or [50 mm] Cube Specimens).
- ASTM C127. (2016). Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate.
- ASTM C136M. (2020). Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates.
- ASTM C618. (2023). Standard Specification for Coal Ash an Raw or Cacined Natural Pozzolan for Use in Concrete.
- Bartolomé, J. F. (1997). El Caolín: Composición, estructura, génesis y aplicaciones. Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio, 36(1), 7-20.
- Cajas Ramirez, V. (2016). Análisis de las intervenciones patrimoniales en Quito (Ecuador). Los casos de las iglesias de San Francisco y de la Compañía de Jesús. [Master thesis, Universitat Politècnica de Catalunya].
<https://upcommons.upc.edu/handle/2117/84117>
- Cazalla Vázquez, O. (2002). Morteros de cal: Aplicación en el patrimonio histórico.
<https://digibug.ugr.es/handle/10481/28626>
- Chatterji, S. (1995). Mechanism of expansion of concrete due to the presence of dead-burnt CaO and MgO. Cement and Concrete Research, 25(1), 51-56.
[https://doi.org/10.1016/0008-8846\(94\)00111-B](https://doi.org/10.1016/0008-8846(94)00111-B)

- Faria, P., Henriques, F., & Rato, V. (2008). Comparative evaluation of lime mortars for architectural conservation. *Journal of Cultural Heritage*, 9(3), 338-346.
<https://doi.org/10.1016/j.culher.2008.03.003>
- Guevara, V. V., Insuasti, J. A. P., & Ramírez, A. C. (2018). Producción de carbonato de calcio precipitado a partir de piedra caliza. 1.
- Katherine, L. (2018). Patrimonio Cultural una alternativa para la dinamización de la economía: Estudio de caso Ecuador. 09.
- Martínez, W., Alonso, E. M., Rubio, J. C., Bedolla, J. A., Velasco, F. A., & Torres, A. A. (2008). Comportamiento Mecánico de Morteros de Cal Apagada Artesanalmente, Adicionados con Mucílago de Cactácea y Ceniza Volcánica, para su uso en Restauración y Conservación de Monumentos Coloniales. *Revista de la Construcción*, 7(2), 93-101.
- Neville, A. M. (1995). *Properties of Concrete* by a m Neville (5.^a ed., Vol. 4).
<https://pdfcoffee.com/properties-of-concrete-by-a-m-neville-pdf-free.html>
- NTE INEN 155. (2009). CEMENTO HIDRÁULICO. MEZCLADO MECÁNICO DE PASTAS Y MORTEROS DE CONSISTENCIA PLÁSTICA.
- NTE INEN 248. (2010). CAL VIVA PARA PROPÓSITOS ESTRUCTURALES. REQUISITOS.
- NTE INEN 488. (2009). CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MORTEROS EN CUBOS DE 50 mm DE ARISTA.
- NTE INEN 873. (2017). ARENA NORMALIZADA. REQUISITOS.
- NTE INEN 1108. (2020). AGUA PARA CONSUMO HUMANO. REQUISITOS.
- NTE INEN 2502. (2009). CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DEL FLUJO EN MORTEROS.

- Oates, T. (2002). Lime and Limestone. En Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology. John Wiley & Sons, Ltd.
<https://doi.org/10.1002/0471238961.1209130507212019.a01.pub2>
- Ramachandran, V. S., Paroli, R. M., Beaudoin, J. J., & Delgado, A. H. (2002). Handbook of Thermal Analysis of Construction Materials. William Andrew.
- Rodríguez Gordillo, J. M. (2006). Morteros como elementos de estudio e Arqueología-Arqueometría Medieval. Arqueometría y arqueología medieval, 2006, ISBN 84-609-7788-9, págs. 171-192, 171-192.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3364568>
- Rodriguez-Navarro, C., Hansen, E., & Ginell, W. S. (1998). Calcium Hydroxide Crystal Evolution upon Aging of Lime Putty. Journal of the American Ceramic Society, 81(11), 3032-3034. <https://doi.org/10.1111/j.1151-2916.1998.tb02735.x>
- Sabir, B. B., Wild, S., & Bai, J. (2001). Metakaolin and calcined clays as pozzolans for concrete: A review. Cement and Concrete Composites, 23(6), 441-454.
[https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(00\)00092-5](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(00)00092-5)
- Sepulcre Aguilar, A. (2005). Influencia de las adiciones puzolánicas en los morteros de restauración de fábricas de interés histórico-artístico
[[Http://purl.org/dc/dcmitype/Text](http://purl.org/dc/dcmitype/Text), Universidad Politécnica de Madrid].
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=2538&orden=0&info=link&info=link>

ANEXOS

ANEXO I

DETERMINACIÓN DE FLUJO DE MORTEROS

MORTERO PATRÓN CON ARENA DE OTTAWA

DETERMINACIÓN DEL FLUJO	
D Inicial [mm]	100
Df 1 [mm]	210
Df 2 [mm]	210
Df 3 [mm]	210
Df 4 [mm]	210
Df Promedio [mm]	210
%	110

MORTERO PATRÓN CON ARENA DE PIFO

DETERMINACIÓN DEL FLUJO	
D Inicial [mm]	100
Df 1 [mm]	210
Df 2 [mm]	210
Df 3 [mm]	210
Df 4 [mm]	210
Df Promedio [mm]	210
%	110

MORTERO CON 5% DE SUSTITUCIÓN EN PESO DE CAL POR METACAOLÍN

DETERMINACION DEL FLUJO	
D Inicial [mm]	100
Df 1 [mm]	207.5
Df 2 [mm]	208
Df 3 [mm]	212
Df 4 [mm]	211
Df Promedio [mm]	209.6
%	109.6

MORTERO CON 10% DE SUSTITUCIÓN EN PESO DE CAL POR METACAOLÍN

DETERMINACION DEL FLUJO	
D Inicial [mm]	100
Df 1 [mm]	212
Df 2 [mm]	209
Df 3 [mm]	211
Df 4 [mm]	208
Df Promedio [mm]	210
%	110

MORTERO CON 20% DE SUSTITUCIÓN EN PESO DE CAL POR METACAOLÍN

DETERMINACION DEL FLUJO	
D Inicial [mm]	100
Df 1 [mm]	205.5
Df 2 [mm]	211
Df 3 [mm]	208
Df 4 [mm]	209
Df Promedio [mm]	208.4
%	108.4

ANEXO II

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

MORTERO PATRÓN CON ARENA DE OTTAWA

MORTEROS PATRÓN OTTAWA - 28 DÍAS									
Fecha Fabricación	Código	Descripción	Fecha Rotura	Edad	Área	Peso	Carga	Esfuerzo	Esfuerzo
					[cm ²]	[g]	[kN]	[MPa]	[MPa]
01-feb-23	30-I-001	Ottawa - 28 días	01-mar-23	28	24.58	194.73	1.27	0.52	0.48
01-feb-23	30-I-002	Ottawa - 28 días	01-mar-23	28	23.86	194.11	1.07	0.45	

MORTEROS PATRÓN OTTAWA - 56 DÍAS									
Fecha Fabricación	Código	Descripción	Fecha Rotura	Edad	Área	Peso	Carga	Esfuerzo	Esfuerzo
					[cm ²]	[g]	[kN]	[MPa]	[MPa]
01-feb-23	30-I-011	Ottawa - 56 días	29-mar-23	56	24.44	197.34	1.27	0.52	0.58
01-feb-23	30-I-012	Ottawa - 56 días	29-mar-23	56	24.44	196.83	1.58	0.65	

MORTEROS PATRÓN OTTAWA - 90 DÍAS									
Fecha Fabricación	Código	Descripción	Fecha Rotura	Edad	Área	Peso	Carga	Esfuerzo	Esfuerzo
					[cm ²]	[g]	[kN]	[MPa]	[MPa]
01-feb-23	30-I-021	Ottawa - 90 días	02-may-23	90	24.56	197.70	1.32	0.54	0.57
01-feb-23	30-I-022	Ottawa - 90 días	02-may-23	90	24.12	197.70	1.47	0.61	

MORTERO PATRÓN CON ARENA DE PIFO

MORTEROS PATRÓN PIFO - 28 DÍAS									
Fecha Fabricación	Código	Descripción	Fecha Rotura	Edad	Área	Peso	Carga	Esfuerzo	Esfuerzo
					[cm ²]	[g]	[kN]	[MPa]	[MPa]
02-feb-23	30-I-003	Pifo - 28 días	02-mar-23	28	23.69	188.94	1.22	0.51	0.51
02-feb-23	30-I-004	Pifo - 28 días	02-mar-23	28	23.49	190.38	1.20	0.51	

MORTEROS PATRÓN PIFO - 56 DÍAS									
Fecha Fabricación	Código	Descripción	Fecha Rotura	Edad	Área	Peso	Carga	Esfuerzo	Esfuerzo
					[cm ²]	[g]	[kN]	[MPa]	[MPa]
02-feb-23	30-I-013	Pifo - 56 días	30-mar-23	56	23.16	189.70	1.72	0.74	0.67
02-feb-23	30-I-014	Pifo - 56 días	30-mar-23	56	25.25	207.07	1.49	0.59	

MORTEROS PATRÓN PIFO - 90 DÍAS									
Fecha Fabricación	Código	Descripción	Fecha Rotura	Edad	Área	Peso	Carga	Esfuerzo	Esfuerzo
					[cm ²]	[g]	[kN]	[MPa]	[MPa]
02-feb-23	30-I-023	Pifo - 90 días	03-may-23	90	24.74	210.82	2.09	0.84	0.84
02-feb-23	30-I-024	Pifo - 90 días	03-may-23	90	24.53	208.47	2.05	0.84	

MORTERO CON 5% DE SUSTITUCIÓN EN PESO DE CAL POR METACAOLÍN

MORTEROS CON METACAOLÍN 5% - 28 DÍAS									
Fecha Fabricación	Código	Descripción	Fecha Rotura	Edad	Área	Peso	Carga	Esfuerzo	Esfuerzo
					[cm ²]	[g]	[kN]	[MPa]	[MPa]
08-feb-23	28-I-001	Metacaolín 5%	08-mar-23	28	24.84	197.83	1.92	0.77	0.76
08-feb-23	28-I-002	Metacaolín 5%	08-mar-23	28	24.16	189.17	1.80	0.74	

MORTEROS CON METACAOLÍN 5% - 56 DÍAS									
Fecha Fabricación	Código	Descripción	Fecha Rotura	Edad	Área	Peso	Carga	Esfuerzo	Esfuerzo
					[cm ²]	[g]	[kN]	[MPa]	[MPa]
08-feb-23	28-I-007	Metacaolín 5%	05-abr-23	56	23.74	189.07	2.13	0.90	0.87
08-feb-23	28-I-008	Metacaolín 5%	05-abr-23	56	23.80	191.06	2.00	0.84	

MORTEROS CON METACAOLÍN 5% - 90 DÍAS									
Fecha Fabricación	Código	Descripción	Fecha Rotura	Edad	Área	Peso	Carga	Esfuerzo	Esfuerzo
					[cm ²]	[g]	[kN]	[MPa]	[MPa]
08-feb-23	28-I-013	Metacaolín 5%	09-may-23	90	24.83	200.85	2.23	0.90	0.92
08-feb-23	28-I-014	Metacaolín 5%	09-may-23	90	24.99	202.71	2.38	0.95	

MORTERO CON 10% DE SUSTITUCIÓN EN PESO DE CAL POR METACAOLÍN

MORTEROS CON METACAOLÍN 10% - 28 DÍAS									
Fecha Fabricación	Código	Descripción	Fecha Rotura	Edad	Área	Peso	Carga	Esfuerzo	Esfuerzo
					[cm ²]	[g]	[kN]	[MPa]	[MPa]
15-feb-23	28-I-003	Metacaolín 10%	15-mar-23	28	24.59	190.39	2.52	1.02	1.06
15-feb-23	28-I-004	Metacaolín 10%	15-mar-23	28	24.37	191.19	2.67	1.09	

MORTEROS CON METACAOLÍN 10% - 56 DÍAS									
Fecha Fabricación	Código	Descripción	Fecha Rotura	Edad	Área	Peso	Carga	Esfuerzo	Esfuerzo
					[cm ²]	[g]	[kN]	[MPa]	[MPa]
15-feb-23	28-I-009	Metacaolín 10%	12-abr-23	56	25.24	203.84	2.86	1.13	1.16
15-feb-23	28-I-010	Metacaolín 10%	12-abr-23	56	24.65	193.68	2.95	1.20	

MORTEROS CON METACAOLÍN 10% - 90 DÍAS									
Fecha Fabricación	Código	Descripción	Fecha Rotura	Edad	Área	Peso	Carga	Esfuerzo	Esfuerzo
					[cm ²]	[g]	[kN]	[MPa]	[MPa]
15-feb-23	28-I-015	Metacaolín 10%	16-may-23	90	25.26	206.56	3.10	1.23	1.25
15-feb-23	28-I-016	Metacaolín 10%	16-may-23	90	24.96	206.28	3.16	1.27	

MORTERO CON 20% DE SUSTITUCIÓN EN PESO DE CAL POR METACAOLÍN

MORTEROS CON METACAOLÍN 20% - 28 DÍAS									
Fecha Fabricación	Código	Descripción	Fecha Rotura	Edad	Área	Peso	Carga	Esfuerzo	Esfuerzo
					[cm ²]	[g]	[kN]	[MPa]	[MPa]
23-feb-23	28-I-005	Metacaolín 20%	23-mar-23	28	23.94	196.49	6.67	2.78	2.83
23-feb-23	28-I-006	Metacaolín 20%	23-mar-23	28	24.09	198.39	6.95	2.88	

MORTEROS CON METACAOLÍN 20% - 56 DÍAS									
Fecha Fabricación	Código	Descripción	Fecha Rotura	Edad	Área	Peso	Carga	Esfuerzo	Esfuerzo
					[cm ²]	[g]	[kN]	[MPa]	[MPa]
23-feb-23	28-I-011	Metacaolín 20%	20-abr-23	56	25.71	212.56	7.22	2.81	2.89
23-feb-23	28-I-012	Metacaolín 20%	20-abr-23	56	24.15	193.49	7.19	2.98	

MORTEROS CON METACAOLÍN 20% - 90 DÍAS									
Fecha Fabricación	Código	Descripción	Fecha Rotura	Edad	Área	Peso	Carga	Esfuerzo	Esfuerzo
					[cm ²]	[g]	[kN]	[MPa]	[MPa]
23-feb-23	28-I-017	Metacaolín 20%	24-may-23	90	25.02	209.41	6.50	2.60	2.50
23-feb-23	28-I-018	Metacaolín 20%	24-may-23	90	24.78	210.78	5.96	2.40	

ANEXO III

DENSIDAD DE LOS MORTEROS EN ESTADO ENDURECIDO

MORTERO PATRÓN CON ARENA DE OTTAWA

MORTEROS PATRÓN OTTAWA - 28 DÍAS									
Codigo	Descripción	Edad	Peso	a	b	c	Volumen	Densidad	Densidad
			[g]	[mm]	[mm]	[mm]		[cm3]	[g/cm3]
30-I-001	Ottawa - 28 dias	28	194.727	50.22	48.95	49.08	120.65	1.61	1.63
30-I-002	Ottawa - 28 dias	28	194.106	47.91	49.81	49.44	117.98	1.65	

MORTEROS PATRÓN OTTAWA - 56 DÍAS									
Codigo	Descripción	Edad	Peso	a	b	c	Volumen	Densidad	Densidad
			[g]	[mm]	[mm]	[mm]		[cm3]	[g/cm3]
30-I-011	Ottawa - 56 dias	56	197.337	50.25	48.64	49.41	120.77	1.63	1.63
30-I-012	Ottawa - 56 dias	56	196.833	50.25	48.64	49.41	120.77	1.63	

MORTEROS PATRÓN OTTAWA - 90 DÍAS									
Codigo	Descripción	Edad	Peso	a	b	c	Volumen	Densidad	Densidad
			[g]	[mm]	[mm]	[mm]		[cm3]	[g/cm3]
30-I-021	Ottawa - 90 dias	90	197.703	49.79	49.33	49.26	120.99	1.63	1.63
30-I-022	Ottawa - 90 dias	90	197.702	49.27	48.95	50.22	121.12	1.63	

MORTERO PATRÓN CON ARENA DE PIFO

MORTEROS PATRÓN PIFO - 28 DÍAS									
Codigo	Descripción	Edad	Peso	a	b	c	Volumen	Densidad	Densidad
			[g]	[mm]	[mm]	[mm]		[cm3]	[g/cm3]
30-I-003	Pifo - 28 dias	28	188.941	48.39	48.96	48.94	115.95	1.63	1.64
30-I-004	Pifo - 28 dias	28	190.38	48.47	48.47	49.08	115.31	1.65	

MORTEROS PATRÓN PIFO - 56 DÍAS									
Codigo	Descripción	Edad	Peso	a	b	c	Volumen	Densidad	Densidad
			[g]	[mm]	[mm]	[mm]		[cm3]	[g/cm3]
30-I-013	Pifo - 56 dias	56	189.699	48.87	47.39	48.88	113.20	1.68	1.65
30-I-014	Pifo - 56 dias	56	207.073	50.39	50.11	50.36	127.16	1.63	

MORTEROS PATRÓN PIFO - 90 DÍAS									
Codigo	Descripción	Edad	Peso	a	b	c	Volumen	Densidad	Densidad
			[g]	[mm]	[mm]	[mm]		[cm3]	[g/cm3]
30-I-023	Pifo - 90 dias	90	210.822	49.98	49.50	51.19	126.64	1.66	1.67
30-I-024	Pifo - 90 dias	90	208.467	49.50	49.56	50.75	124.50	1.67	

MORTERO CON 5% DE SUSTITUCIÓN EN PESO DE CAL POR METACAOLÍN

MORTEROS CON METACAOLÍN 5% - 28 DÍAS									
Codigo	Descripción	Edad	Peso	a	b	c	Volumen	Densidad	Densidad
			[g]	[mm]	[mm]	[mm]		[cm3]	[g/cm3]
28-I-001	Metacaolín 5%	28	197.83	50.48	49.21	50.59	125.67	1.57	1.58
28-I-002	Metacaolín 5%	28	189.17	48.93	49.37	49.58	119.77	1.58	

MORTEROS CON METACAOLÍN 5% - 56 DÍAS									
Codigo	Descripción	Edad	Peso	a	b	c	Volumen	Densidad	Densidad
			[g]	[mm]	[mm]	[mm]		[cm3]	[g/cm3]
28-I-007	Metacaolín 5%	56	189.07	48.80	48.65	49.21	116.83	1.62	1.62
28-I-008	Metacaolín 5%	56	191.06	49.15	48.42	49.34	117.42	1.63	

MORTEROS CON METACAOLÍN 5% - 90 DÍAS									
Codigo	Descripción	Edad	Peso	a	b	c	Volumen	Densidad	Densidad
			[g]	[mm]	[mm]	[mm]		[cm3]	[g/cm3]
28-I-013	Metacaolín 5%	90	200.846	49.89	49.77	50.82	126.19	1.59	1.60
28-I-014	Metacaolín 5%	90	202.705	49.77	50.22	50.13	125.30	1.62	

MORTERO CON 10% DE SUSTITUCIÓN EN PESO DE CAL POR METACAOLÍN

MORTEROS CON METACAOLÍN 10% - 28 DÍAS									
Codigo	Descripción	Edad	Peso	a	b	c	Volumen	Densidad	Densidad
			[g]	[mm]	[mm]	[mm]		[cm3]	[g/cm3]
28-I-003	Metacaolín 10%	28	190.389	49.50	49.67	49.35	121.34	1.57	1.57
28-I-004	Metacaolín 10%	28	191.185	49.28	49.46	49.65	121.02	1.58	

MORTEROS CON METACAOLÍN 10% - 56 DÍAS									
Codigo	Descripción	Edad	Peso	a	b	c	Volumen	Densidad	Densidad
			[g]	[mm]	[mm]	[mm]		[cm3]	[g/cm3]
28-I-009	Metacaolín 10%	56	203.835	50.45	50.03	50.13	126.53	1.61	1.60
28-I-010	Metacaolín 10%	56	193.68	49.41	49.88	49.64	122.34	1.58	

MORTEROS CON METACAOLÍN 10% - 90 DÍAS									
Codigo	Descripción	Edad	Peso	a	b	c	Volumen	Densidad	Densidad
			[g]	[mm]	[mm]	[mm]		[cm3]	[g/cm3]
28-I-015	Metacaolín 10%	90	206.562	50.31	50.20	50.42	127.34	1.62	1.63
28-I-016	Metacaolín 10%	90	206.276	50.22	49.71	50.71	126.59	1.63	

MORTERO CON 20% DE SUSTITUCIÓN EN PESO DE CAL POR METACAOLÍN

MORTEROS CON METACAOLÍN 20% - 28 DÍAS									
Codigo	Descripción	Edad	Peso	a	b	c	Volumen	Densidad	Densidad
			[g]	[mm]	[mm]	[mm]		[cm3]	[g/cm3]
28-I-005	Metacaolín 20%	28	196.486	49.22	48.63	49.39	118.22	1.66	1.66
28-I-006	Metacaolín 20%	28	198.388	49.17	49.00	49.75	119.86	1.66	

MORTEROS CON METACAOLÍN 20% - 56 DÍAS									
Codigo	Descripción	Edad	Peso	a	b	c	Volumen	Densidad	Densidad
			[g]	[mm]	[mm]	[mm]		[cm3]	[g/cm3]
28-I-011	Metacaolín 20%	56	212.56	50.96	50.46	50.39	129.57	1.64	1.63
28-I-012	Metacaolín 20%	56	193.492	49.24	49.04	49.36	119.19	1.62	

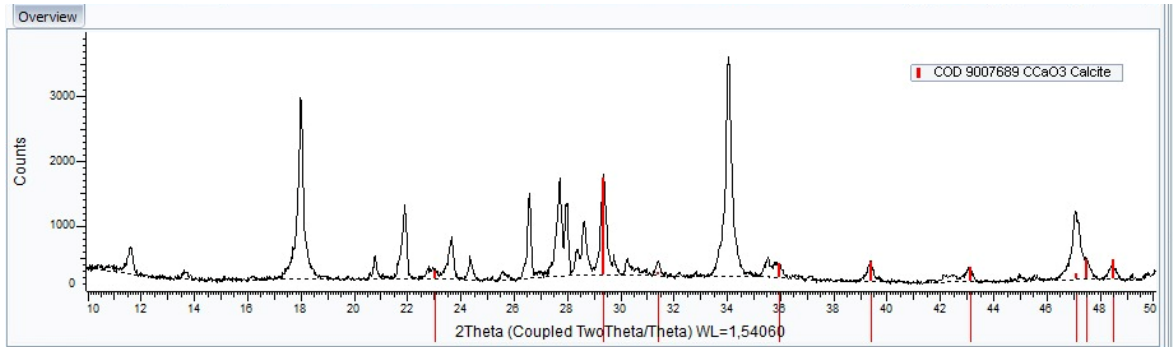
MORTEROS CON METACAOLÍN 20% - 90 DÍAS									
Codigo	Descripción	Edad	Peso	a	b	c	Volumen	Densidad	Densidad
			[g]	[mm]	[mm]	[mm]		[cm3]	[g/cm3]
28-I-017	Metacaolín 20%	90	209.405	50.63	49.42	51.03	127.68	1.64	1.65
28-I-018	Metacaolín 20%	90	210.781	50.29	49.27	51.16	126.76	1.66	

ANEXO IV

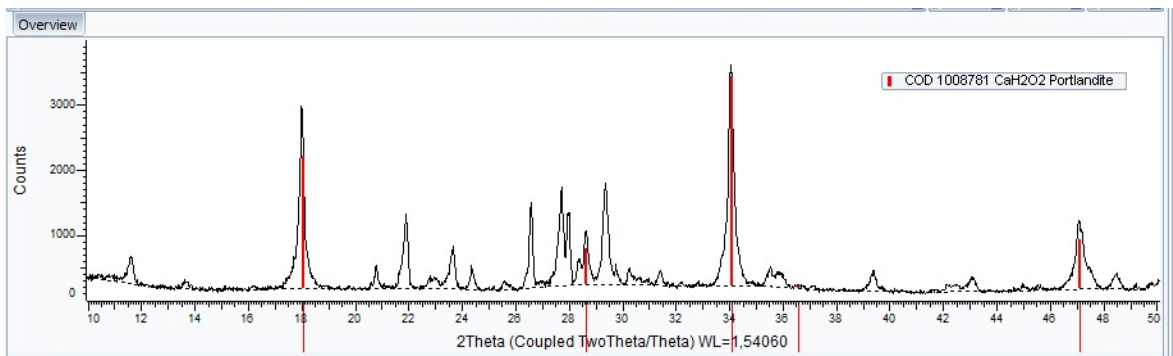
DIFRACCION DE RAYOS X

MORTERO PATRÓN CON ARENA DE OTTAWA – 90 DÍAS

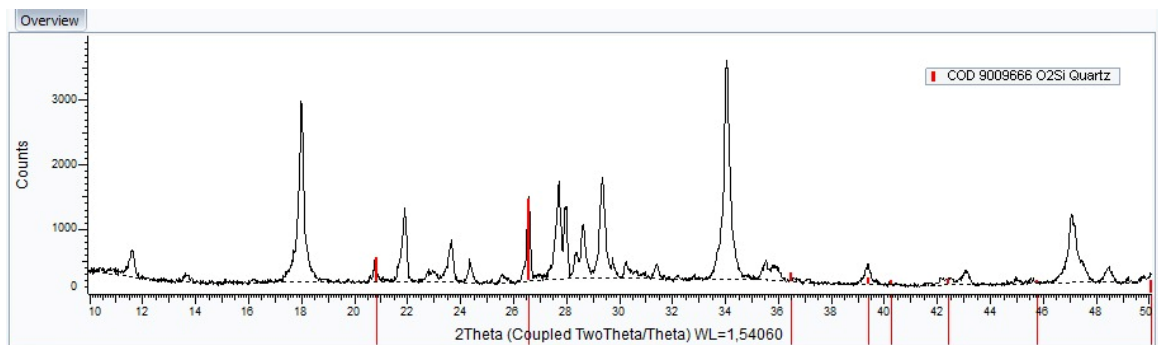
Calcita



Portlandita

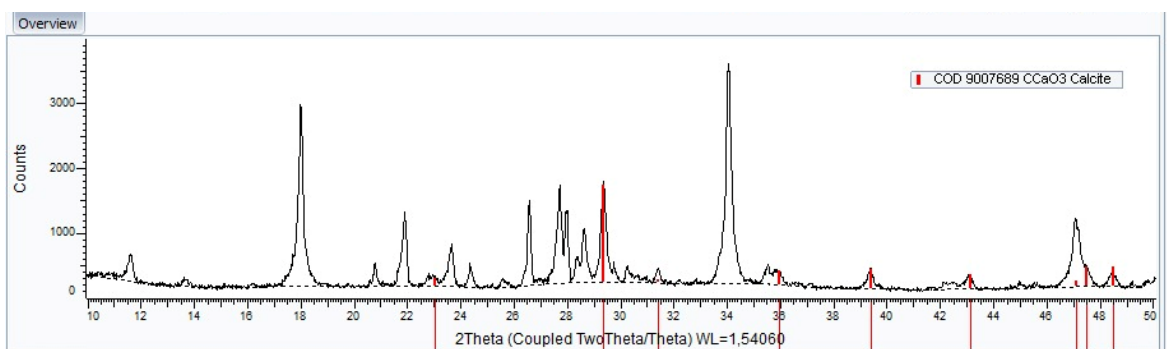


Cuarzo

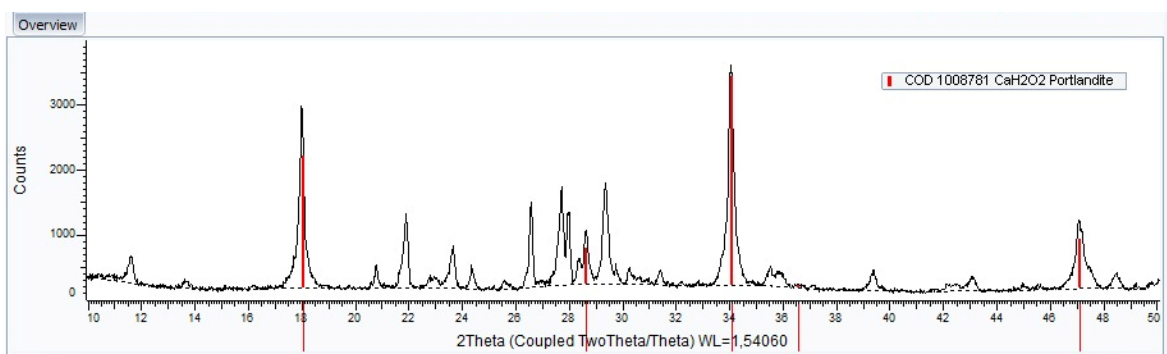


MORTERO PATRÓN CON ARENA DE PIFO – 90 DÍAS

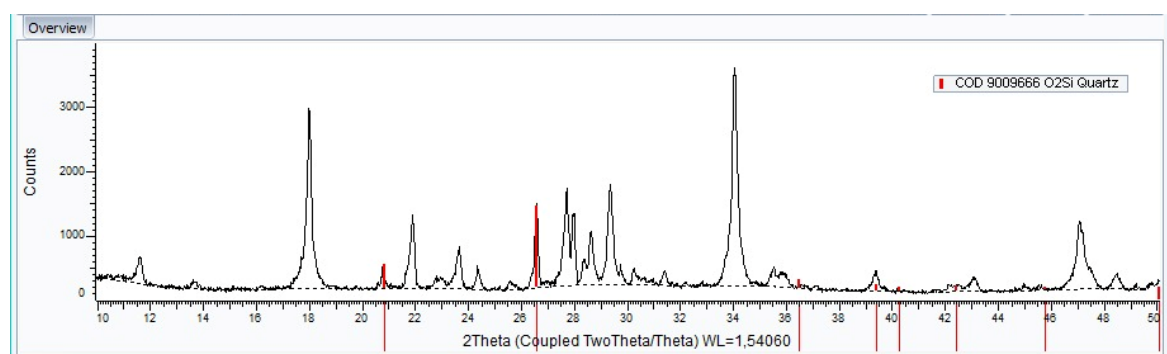
Calcita



Portlandita

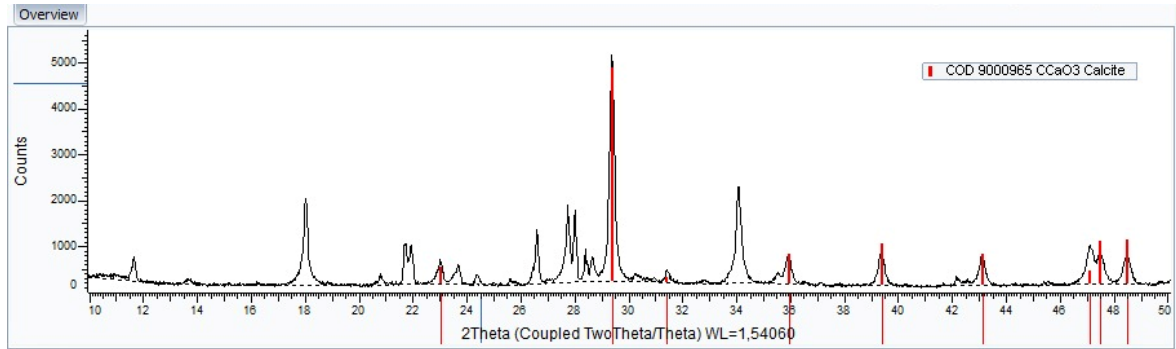


Cuarzo

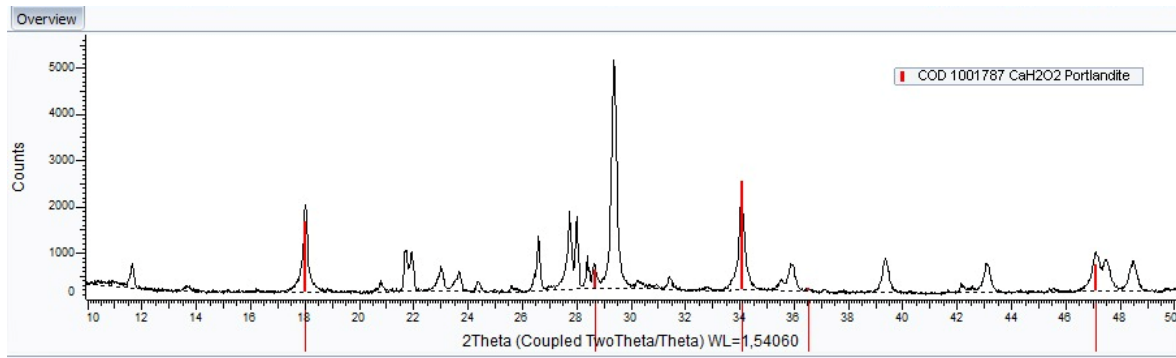


MORTERO CON 5% DE SUSTITUCIÓN EN PESO DE CAL POR METACAOLÍN – 90 DÍAS

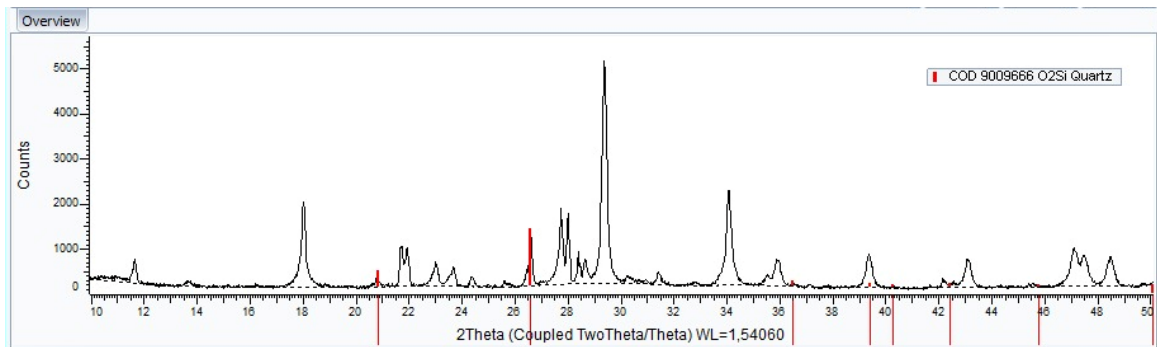
Calcita



Portlandita

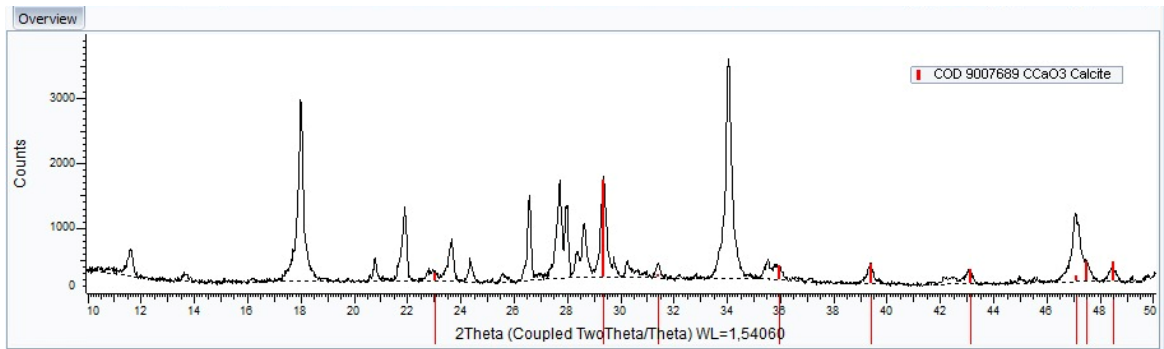


Cuarzo

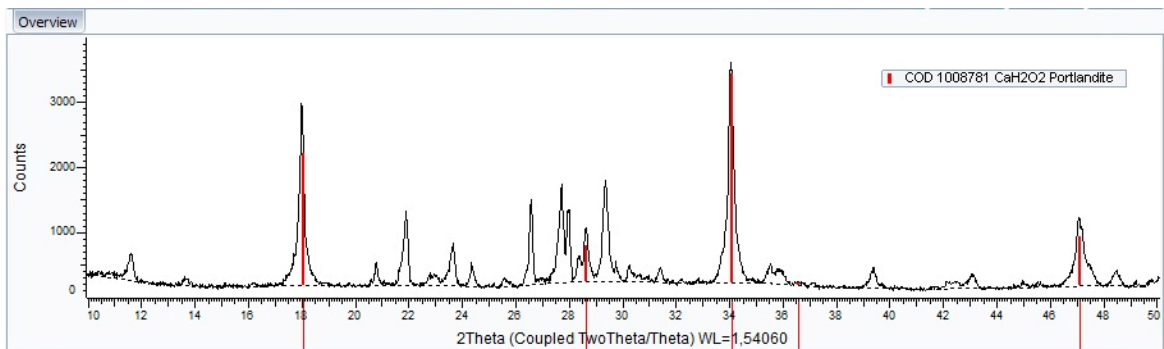


MORTERO CON 10% DE SUSTITUCIÓN EN PESO DE CAL POR METACAOLÍN – 90 DÍAS

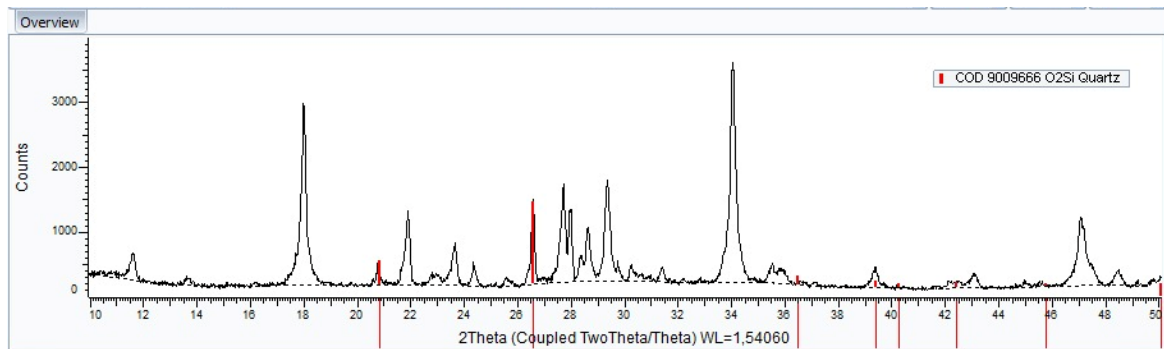
Calcita



Portlandita

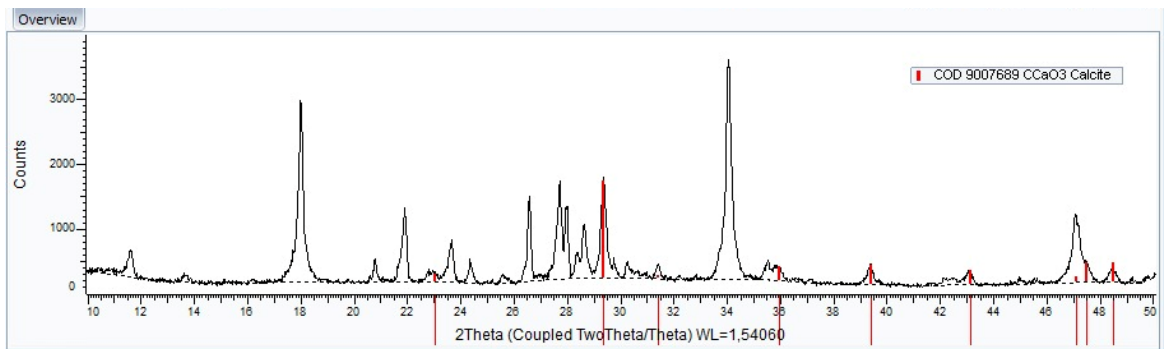


Cuarzo

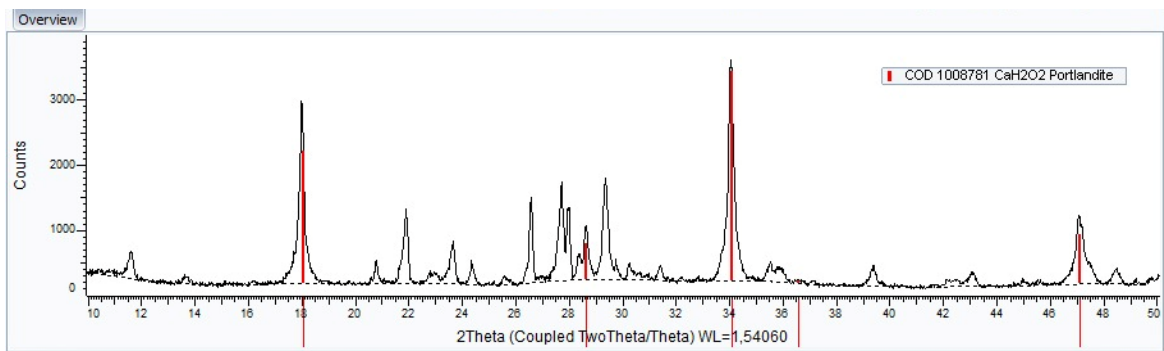


MORTERO CON 20% DE SUSTITUCIÓN EN PESO DE CAL POR METACAOLÍN – 90 DÍAS

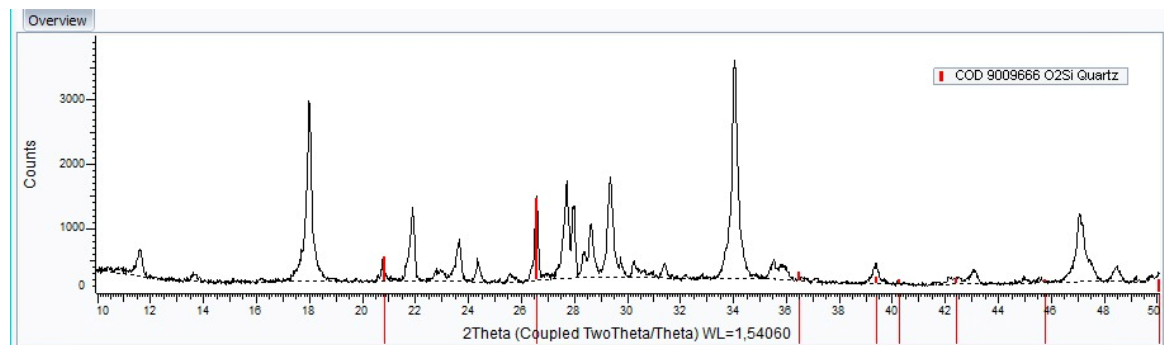
Calcita



Portlandita



Cuarzo



ANEXO V

INFORMES DE ENSAYOS ENTREGADOS POR EL LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS (LEMSUR)



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



COMPRESIÓN CÚBICA DE MORTEROS DE CEMENTO

Código de Informe: CCM-23-003-I-A
Fecha de Informe: 2023-06-28

Hoja 01 de 03

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: Carlos Alexander Córdor Défaz
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía
Teléfono: 0963768448

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: Estudio de morteros para preparación arqueológica y patrimonial - Morteros mezcla de cal - metakaolín.
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***

NORMA DE REFERENCIA: ASTM C109/C109M

FECHA DE ENSAYO: Indicadas

Nº	Código	Descripción	Fecha Fábrica	Fecha Rotura	Flujo %	Edad (días)	Masa (g)	Carga (kN)	Resistencia (MPa)
1	028-I-H-01	Metakaolín 5%28 días	2023-02-08	2023-03-08	109,6	28	197,825	1,92	0,8
2	028-I-H-02	Metakaolín 5%28 días	2023-02-08	2023-03-08	109,6	28	189,169	1,80	0,7
3	028-I-H-03	Metakaolín 10%28 días	2023-02-15	2023-03-15	110	28	190,389	2,52	1,0
4	028-I-H-04	Metakaolín 10%28 días	2023-02-15	2023-03-15	110	28	191,185	2,67	1,1
5	028-I-H-05	Metakaolín 20%28 días	2023-02-23	2023-03-23	108,4	28	196,486	6,67	2,8
6	028-I-H-06	Metakaolín 20%28 días	2023-02-23	2023-03-23	108,4	28	198,388	6,95	2,9
7	028-I-H-07	Metakaolín 5%56 días	2023-02-08	2023-04-05	109,6	56	189,07	2,13	0,9
8	028-I-H-08	Metakaolín 5%56 días	2023-02-08	2023-04-05	109,6	56	191,06	2,00	0,8
9	028-I-H-09	Metakaolín 10%56 días	2023-02-15	2023-04-12	110	56	203,835	2,86	1,1
10	028-I-H-10	Metakaolín 10%56 días	2023-02-15	2023-04-12	110	56	193,68	2,93	1,2
11	028-I-H-11	Metakaolín 20%56 días	2023-02-23	2023-04-20	108,4	56	212,56	7,22	2,8
12	028-I-H-12	Metakaolín 20%56 días	2023-02-23	2023-04-20	108,4	56	198,492	7,19	3,0

Observaciones:

El presente informe reemplaza al informe CCM-23-003-I. La información proporcionada por el cliente, tal como, descripción y fecha de fábrica, involucra su total responsabilidad. Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los ítems ensayados bajo las condiciones de Laboratorio. El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni parcial ni totalmente sin la autorización del LEMSUR.

X Ing. Mercedes Villacís
JEFE DE LABORATORIO



Tel.: 2976300
Ext.: 1609

Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía / Edif. Ing. Civil / Mezanine / Ofic. M15 **Email:** lemsur@epn.edu.ec



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



COMPRESIÓN CÚBICA DE MORTEROS DE CEMENTO

Código de Informe: CCM-23-003-I-A

Hoja 02 de 03

Fecha de Informe: 2023-06-28

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: Carlos Alexander Córdor Défaz
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía
Teléfono: 0963768448

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: Estudio de morteros para preparación arqueológica y patrimonial - Morteros mezcla de cal - metacaolín.
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***

NORMA DE REFERENCIA: ASTM C109/C109M

FECHA DE ENSAYO: Indicadas

N°	Código	Descripción	Fecha Fábrica	Fecha Rotura	Flujo %	Edad (días)	Masa (g)	Carga (kN)	Resistencia (MPa)
1	028-I-H-13	Metacaolín 5%90 días	2023-02-08	2023-05-09	109,6	90	200,846	2,23	0,9
2	028-I-H-14	Metacaolín 5%90 días	2023-02-08	2023-05-09	109,6	90	202,705	2,38	1,0
3	028-I-H-15	Metacaolín 10%90 días	2023-02-15	2023-05-16	110	90	206,562	3,10	1,2
4	028-I-H-16	Metacaolín 10%90 días	2023-02-15	2023-05-16	110	90	506,276	3,16	1,3
5	028-I-H-17	Metacaolín 20%90 días	2023-02-23	2023-05-24	108,4	90	208,405	6,50	2,6
6	028-I-H-18	Metacaolín 20%90 días	2023-02-23	2023-05-24	108,4	90	210,781	5,96	2,4
7	030-I-H-01	Patrón: Ottawa 28 días	2023-02-01	2023-03-01	110	28	194,727	1,27	0,5
8	030-I-H-02	Patrón: Ottawa 28 días	2023-02-01	2023-03-01	110	28	194,106	1,07	0,4
9	030-I-H-11	Patrón: Ottawa 56 días	2023-02-01	2023-03-29	110	56	197,337	1,27	0,5
10	030-I-H-12	Patrón: Ottawa 56 días	2023-02-01	2023-03-29	110	56	196,833	1,58	0,6
11	030-I-H-21	Patrón: Ottawa 90 días	2023-02-01	2023-05-02	110	90	197,703	1,32	0,5
12	030-I-H-22	Patrón: Ottawa 90 días	2023-02-01	2023-05-02	110	90	197,702	1,47	0,6

Observaciones:

El presente informe reemplaza al informe CCM-23-003-I.
La información proporcionada por el cliente, tal como, muestra, ubicación y profundidad, involucra su total responsabilidad.
Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los ítems ensayados bajo las condiciones de Laboratorio.
El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni parcial ni totalmente sin la autorización del LEMSUR.

X Ing. Mercedes Villacís
JEFE DE LABORATORIO



Tel.: 2976300
Ext.: 1609

Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía / Edif. Ing. Civil / Mezanine / Ofic. M15 Email: lemsur@epn.edu.ec



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



COMPRESIÓN CÚBICA DE MORTEROS DE CEMENTO

Código de Informe: CCM-23-003-I-A
Fecha de Informe: 2023-06-28

Hoja 03 de 03

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: Carlos Alexander Córdor Défaz
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía
Teléfono: 0963768448

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: Estudio de morteros para preparación arqueológica y patrimonial - Morteros mezcla de cal - metakaolín.
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***


NORMA DE REFERENCIA: ASTM C109/C109M

FECHA DE ENSAYO: Indicadas

N°	Código	Descripción	Fecha Fábrica	Fecha Rotura	Flujo %	Edad (días)	Masa (g)	Carga (kN)	Resistencia (MPa)
1	030-I-H-03	Patrón: Pífo28 días	2023-02-02	2023-03-02	110	28	188,941	1,22	0,5
2	030-I-H-04	Patrón: Pífo28 días	2023-02-02	2023-03-02	110	28	190,38	1,20	0,5
3	030-I-H-13	Patrón: Pífo56 días	2023-02-02	2023-03-30	110	56	189,699	1,72	0,7
4	030-I-H-14	Patrón: Pífo56 días	2023-02-02	2023-03-30	110	56	207,073	1,49	0,6
5	030-I-H-23	Patrón: Pífo90 días	2023-02-02	2023-05-03	110	90	210,822	2,09	0,8
6	030-I-H-24	Patrón: Pífo90 días	2023-02-02	2023-05-03	110	90	208,467	2,05	0,8

Observaciones:

El presente informe reemplaza al informe CCM-23-003-I.
La información proporcionada por el cliente, tal como, muestra, ubicación y profundidad, involucra su total responsabilidad.
Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los ítems ensayados bajo las condiciones de Laboratorio.
El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni parcial ni totalmente sin la autorización del LEMSUR.


Ing. Mercedes Villacis
JEFE DE LABORATORIO



Telf.: 2976300
Ext.: 1609

Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía / Edif. Ing. Civil / Mezanine / Ofic. M15 **Email:** lemsur@epn.edu.ec



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Código de Informe: GRF-23-002-I

Hoja 01 de 01

Fecha de informe : 2023-06-23

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: Carlos Alexander Córdor Défaz
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía
Teléfono: 0995440070

DATOS DEL PROYECTO

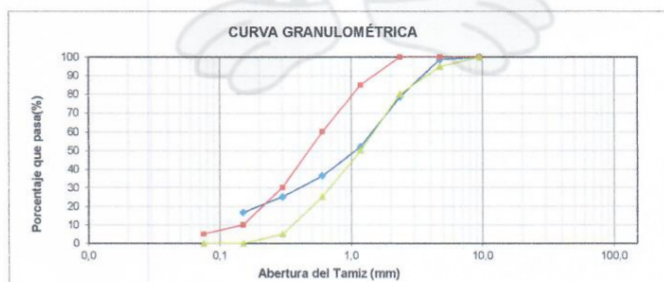
Proyecto: Estudio de morteros para preparación arqueológica y patrimonial - Morteros mezcla de cal - metakaolín.
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
MUESTRA: Arena
PROCEDENCIA: Pifo
FECHA DE ENSAYO: 2023-03-02
NORMA: ASTM C136M

Tamiz No.	Tamaño Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje Acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)
3/8"	9,5	0,0	0,0	0,0	100,0
No. 4	4,750	6,3	1,3	1,3	98,7
No. 8	2,360	100,4	20,1	21,4	78,6
No. 16	1,180	132,8	26,6	48,0	52,0
No. 30	0,600	78,2	15,7	63,6	36,4
No. 50	0,300	56,7	11,4	75,0	25,0
No. 100	0,150	41,0	8,2	83,2	16,8
BANDEJA	-	83,9	16,8	100,0	0,0
Total		499,3			

Observaciones: La información proporcionada por el cliente, tal como, muestra y procedencia, involucra su total responsabilidad.

Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los ítems ensayados bajo las condiciones de Laboratorio.

El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni parcial ni totalmente sin la autorización del LEMSUR.



Ing. Mercedes Villacis
JEFE DE LABORATORIO



Telf.: 2976300
Ext.: 1609



DENSIDAD APARENTE

Código de Informe: DA-23-002-I
Fecha de informe : 2023-06-23

Hoja 01 de 01

DATOS DEL CLIENTE

Razón Social: Carlos Alexander Córdor Défaz
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía
Teléfono: 0995440070

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: Estudio de morteros para preparación arqueológica y patrimonial - Morteros mezcla de cal - metakaolin.
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
PROCEDENCIA: Pifo
TIPO DE MUESTRA: Arena
FECHA DE ENSAYO: 2023-03-02
NORMA: ASTM C29

DENSIDAD APARENTE DE AGREGADOS					
Identificación	Descripción	Muestra Suelta		Muestra Compactada	
		Densidad seca (kg/m ³)	Contenido de vacíos (%)	Densidad seca (kg/m ³)	Contenido de vacíos (%)
28-I-031	Arena	1545	35	1694	29

Observaciones: La información proporcionada por el cliente, tal como, muestra y procedencia, involucra su total responsabilidad.
Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los items ensayados bajo las condiciones de Laboratorio.
El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni parcial ni totalmente sin la autorización del LEMSUR.

Ing. Mercedes Villacís
JEFE DE LABORATORIO



Tel.: 2976300
Ext.: 1609



GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS

Código de Informe: GSA-23-003-I
Fecha de informe: 2023-06-23

Hoja 01 de 01

DATOS DEL CLIENTE

Razón Social: Carlos Alexander Córdor Défaz
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía
Teléfono: 0995440070

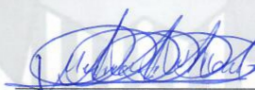
DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: Estudio de morteros para preparación arqueológica y patrimonial - Morteros mezcla de cal - metakaolín.
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
PROCEDENCIA: Pifo
TIPO DE MUESTRA: Arena
NORMA: ASTM C127
FECHA DE ENSAYO: 2023-03-02

RESULTADOS DEL ENSAYO

Identificación	Descripción	Densidad relativa seca	Densidad relativa S.S.S	Densidad relativa aparente	Absorción de agua (%)
28-I-031	Arena Pifo	2,38	2,46	2,59	3,35

Observaciones: El término "Densidad relativa S.S.S" se refiere a la densidad de la muestra determinada bajo la condición saturada y superficialmente seca.
La información proporcionada por el cliente, tal como, procedencia y tipo de muestra, involucra su total responsabilidad.
Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los ítems ensayados bajo las condiciones del Laboratorio.
El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni parcial ni totalmente sin la autorización del LEMSUR.


Ing. Mercedes Villacís
JEFE DE LABORATORIO



Telf.: 2976300
Ext.: 1609



CONTENIDO ORGÁNICO

Código de Informe: CO-23-002-I
Fecha de informe : 2023-06-23

Hoja 01 de 01

DATOS DEL CLIENTE

Razón Social: Carlos Alexander Córdor Défaz
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía
Teléfono: 0995440070

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: Estudio de morteros para preparación arqueológica y patrimonial - Morteros mezcla de cal - metakaolin.
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
PROCEDENCIA: Pifo
TIPO DE MUESTRA: Arena
FECHA DE ENSAYO: 2023-03-02
NORMA: ASTM C40

ENSAYO DE CONTENIDO ORGÁNICO	
	<p>Escala "Organic Color Plate"</p> <p>1 <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>2 <input type="checkbox"/></p> <p>3 <input type="checkbox"/></p> <p>4 <input type="checkbox"/></p> <p>5 <input type="checkbox"/></p>

Observaciones: La información proporcionada por el cliente, tal como, muestra y procedencia, involucra su total responsabilidad.
Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los ítems ensayados bajo las condiciones de Laboratorio.
El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni parcial ni totalmente sin la autorización del LEMSUR.

Ing. Mercedes Villacís
JEFE DE LABORATORIO



Tel.: 2976300
Ext.: 1609