

David David

9307__1751344473art02.pdf



My Files



My Files



Universidad Peruana Union

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::29566:471034033

Fecha de entrega

1 jul 2025, 5:20 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

1 jul 2025, 5:24 a.m. GMT-5

Nombre de archivo

9307__1751344473art02.pdf

Tamaño de archivo

1.7 MB

44 Páginas

11.297 Palabras

60.668 Caracteres

19% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 8 palabras)

Exclusiones

- N.º de fuente excluida

Fuentes principales

- 15%  Fuentes de Internet
- 3%  Publicaciones
- 16%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Fuentes principales

- 15% Fuentes de Internet
- 3% Publicaciones
- 16% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

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

1	Internet	hdl.handle.net	3%
2	Trabajos entregados	Universidad Nacional del Centro del Peru on 2021-08-12	1%
3	Internet	repositorio.ucv.edu.pe	1%
4	Internet	repositorio.continental.edu.pe	<1%
5	Trabajos entregados	upeu on 2025-05-30	<1%
6	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2016-06-07	<1%
7	Internet	repositorio.uss.edu.pe	<1%
8	Trabajos entregados	Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez on 2024-10-15	<1%
9	Trabajos entregados	Universidad Católica de Santa María on 2019-03-26	<1%
10	Trabajos entregados	upeu on 2024-12-10	<1%
11	Trabajos entregados	Universidad Privada del Norte on 2025-03-11	<1%

12	Internet	www.coursehero.com	<1%
13	Internet	tesis.usat.edu.pe	<1%
14	Trabajos entregados	Universidad Privada Boliviana on 2022-07-08	<1%
15	Trabajos entregados	UNIV DE LAS AMERICAS on 2015-02-13	<1%
16	Trabajos entregados	Universidad Andina del Cusco on 2019-11-18	<1%
17	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2025-05-02	<1%
18	Internet	doczz.net	<1%
19	Trabajos entregados	Universidad Andina del Cusco on 2024-11-26	<1%
20	Internet	www.researchgate.net	<1%
21	Trabajos entregados	Universidad Andina del Cusco on 2017-12-01	<1%
22	Internet	mx.alconpat.org	<1%
23	Internet	repositorio.unamba.edu.pe	<1%
24	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2024-08-12	<1%
25	Internet	ri.ues.edu.sv	<1%

26	Internet	vsip.info	<1%
27	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2017-09-25	<1%
28	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2025-01-13	<1%
29	Internet	repositorio.unach.edu.pe	<1%
30	Internet	repositorio.upeu.edu.pe:8080	<1%
31	Trabajos entregados	Universidad de Vigo on 2015-09-17	<1%
32	Internet	repositorio.unsaac.edu.pe	<1%
33	Trabajos entregados	uncedu on 2025-06-27	<1%
34	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2022-07-27	<1%
35	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2025-06-26	<1%
36	Trabajos entregados	Universidad Privada del Norte on 2023-06-24	<1%
37	Internet	repositorio.uns.edu.pe	<1%
38	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2022-11-22	<1%
39	Trabajos entregados	Universidad EAFIT on 2017-07-31	<1%

40	Trabajos entregados	Universidad Privada del Norte on 2024-09-25	<1%
41	Trabajos entregados	uncedu on 2024-10-15	<1%
42	Trabajos entregados	Universidad Católica de Santa María on 2015-11-27	<1%
43	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2016-05-19	<1%
44	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2022-07-31	<1%
45	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2025-01-22	<1%
46	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2025-01-23	<1%
47	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2025-04-29	<1%
48	Trabajos entregados	Universidad Continental on 2018-11-12	<1%
49	Trabajos entregados	Universidad Continental on 2020-07-27	<1%
50	Trabajos entregados	Universidad Nacional de Trujillo on 2024-01-06	<1%
51	Trabajos entregados	Universidad Nacional del Santa on 2019-11-05	<1%
52	Trabajos entregados	Universidad Privada del Norte on 2025-03-29	<1%
53	Internet	renati.sunedu.gob.pe	<1%

54	Internet	www.grafiati.com	<1%
55	Publicación	Armando Nicolás Moreno, Marco Antonio García Lobato, Felipe Avalos Bemolte, E...	<1%
56	Trabajos entregados	Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez on 2019-01-21	<1%
57	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2022-04-27	<1%
58	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2022-08-02	<1%
59	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2024-02-12	<1%
60	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2024-08-22	<1%
61	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2024-12-05	<1%
62	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2025-06-26	<1%
63	Trabajos entregados	Universidad Nacional de Piura on 2022-06-29	<1%
64	Trabajos entregados	Universidad Privada del Norte on 2023-03-30	<1%
65	Trabajos entregados	Universidad Privada del Norte on 2023-07-05	<1%
66	Trabajos entregados	Universidad Privada del Norte on 2025-01-17	<1%
67	Trabajos entregados	Universidad Tecnologica del Peru on 2024-12-07	<1%

68	Internet	cienfuegos.gob.cu	<1%
69	Internet	d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net	<1%
70	Internet	ddd.uab.cat	<1%
71	Internet	pt.scribd.com	<1%
72	Trabajos entregados	uncedu on 2025-05-30	<1%
73	Internet	www.fyo.com.ar	<1%
74	Internet	www.slideshare.net	<1%
75	Trabajos entregados	CONACYT on 2017-01-09	<1%
76	Publicación	Granados Mendoza, Ángela María. ""Si yo fuera pajarito" Obra performática musi...	<1%
77	Trabajos entregados	ULACIT Universidad Latinoamericana de Ciencia y Tecnología on 2024-02-18	<1%
78	Trabajos entregados	Universidad Andina del Cusco on 2018-03-22	<1%
79	Trabajos entregados	Universidad Católica Boliviana "San Pablo" on 2024-11-04	<1%
80	Trabajos entregados	Universidad Católica San Pablo on 2023-11-29	<1%
81	Trabajos entregados	Universidad Católica de Santa María on 2017-09-05	<1%

82	Trabajos entregados	Universidad Católica de Santa María on 2019-12-17	<1%
83	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2017-11-04	<1%
84	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2022-12-21	<1%
85	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2023-07-31	<1%
86	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2024-12-11	<1%
87	Trabajos entregados	Universidad Privada Antenor Orrego on 2024-09-11	<1%
88	Trabajos entregados	Universidad Privada del Norte on 2023-06-09	<1%
89	Trabajos entregados	Universidad Privada del Norte on 2024-07-01	<1%
90	Trabajos entregados	Universidad Tecnológica Centroamericana UNITEC on 2025-06-23	<1%
91	Internet	fdocuments.mx	<1%
92	Internet	mymedr.afpm.org.my	<1%
93	Internet	repositorio.uncp.edu.pe	<1%
94	Internet	repositorio.unsm.edu.pe	<1%
95	Internet	repositorio.usfq.edu.ec	<1%

96	Internet	repositorioinstitucional.ceu.es	<1%
97	Internet	repository.usta.edu.co	<1%
98	Trabajos entregados uncedu on 2023-11-29		<1%
99	Internet	vdocuments.net	<1%

30

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

Escuela Profesional de Ingeniería Civil



Desempeño de un concreto de alta resistencia incorporando arcilla bentonita y polvo de mármol

1

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil

Autor:

David Hacho Chipa

Yeni Machaca Machaca

Asesor:

Mg. Lily Zea Gonzales

10

Juliaca, junio de 2025

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo Mg. Lily Zea Gonzales, docente de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“DESEMPEÑO DE UN CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA INCORPORANDO ARCILLA BENTONITA Y POLVO DE MÁRMOL”** de los autores **David Hacho Chipa y Yeni Machaca Machaca** tiene un índice de similitud de 15% verificable en el informe del programa Turnitin, y fue realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponde ante cualquier falsedad u omisión de los documentos como de la información aportada, firmo la presente declaración en la ciudad de Juliaca, a los 05 días del mes de junio del año 2025.



Mg. Lily Zea Gonzales
asesor

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS



En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiani, a 02 día(s) del mes de junio del año 2025, siendo las 15:00 horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Juliaca, bajo la dirección del

(de la) presidente(a):

Mg. Llesan Feiberty Pari Lusi, el (la) secretario(a): Mtro. Leonel Eshahueros Paucar y los demás miembros: Mg. Edwin Parillo Escarsena y el (la) asesor(a) Mg. Lily Zea Gonzales

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulado:

Desempeño de un concreto de alta resistencia incorporando arcilla bentonita y polvo de mármol

del(los) bachiller(es): a) David Hacho Shipa

b) Yeni Machaca Machaca

c) _____

conducente a la obtención del título profesional de:

Ingeniero Civil
(Denominación del Título Profesional)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Bachiller (a): David Hacho Shipa

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>16</u>	<u>B</u>	<u>Bueno</u>	<u>Muy Bueno</u>

Bachiller (b): Yeni Machaca Machaca

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>16</u>	<u>B</u>	<u>Bueno</u>	<u>Muy Bueno</u>

Bachiller (c): _____

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

[Firma]
 Presidente/a
[Firma]
 Asesor/a
[Firma]
 Bachiller (a)
[Firma]
 Miembro
[Firma]
 Bachiller (b)
[Firma]
 Secretario/a
[Firma]
 Miembro
[Firma]
 Bachiller (c)

INDICE GENERAL

INDICE DE TABLAS	v
INDICE DE FIGURAS.....	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT.....	viii
1. INTRODUCCIÓN.....	9
2. MATERIALES Y METODOS	12
2.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES.....	12
2.1.1. CEMENTO PORTLAND (PC).....	12
2.1.2. AGREGADO FINO.....	12
2.1.3. AGREGADO GRUESO	13
2.1.4. ARCILLA BENTONITA (CB).....	13
2.1.5. POLVO DE MÁRMOL (MDP)	14
2.2. RELACIÓN DEL CEMENTO PORTLAND ENTRE ARCILLA BENTONITA Y EL POLVO DE MÁRMOL	15
2.3. METODOLOGÍA DE ESTUDIO.....	15
2.4. MÉTODO DE DISEÑO DE ACI-211.4	16
2.5. DISEÑO DE MEZCLA	17
2.6. CARACTERISTICAS MECÁNICAS.....	17
3. RESULTADOS Y DISCUSION	18
3.1. PRUEBAS DE CONCRETO FRESCO	18
3.2. RESISTENCIA A COMPRESIÓN.....	20
3.3. RESISTENCIA A TRACCIÓN	23
3.4. RESISTENCIA A FLEXIÓN.....	24
3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE RESULTADOS	25
3.6. ANÁLISIS DE PRECIOS DE CONCRETO CONVENCIONAL FRENTE AL CONCRETO MODIFICADO.....	30
3.7. REDUCCIÓN DE DIÓXIDO DE CARBONO (CO ₂).....	31
3.8. LIMITACIONES DEL ESTUDIO.....	31
4. CONCLUSIONES	31
5. REFERENCIAS	33
ANEXOS	37

INDICE DE TABLAS

3	Tabla 1 Características físicas agregado fino.....	12
	Tabla 2 Características físicas agregado grueso	13
	Tabla 3 Composición química de cemento portland, arcilla bentonita y polvo de mármol	15
99	Tabla 4 Para obtener el tamaño máximo nominal del árido	16
16	Tabla 5 Slump indicado para concretos de alta resistencia con y sin superplastificante	16
	Tabla 6 Proporciones finales del diseño de mezcla del concreto alta resistencia (kg/m ³).....	17
	Tabla 7 Las características frescas de las muestras del concreto.....	19
9	Tabla 8 Resistencia a compresión en kg/cm ² a edades de 7, 14 y 28 días de curado	21
11	Tabla 9 Resistencia a tracción en kg/cm ² a edades de 7, 14 y 28 días de curado	23
	Tabla 10 Resistencia a flexión en kg/cm ² a edades de 28 días de curado	25
8	Tabla 11 Análisis descriptivo (95% del intervalo de confianza para la media).....	26
64	Tabla 12 Análisis de varianza (ANOVA) a los 28 días de curado	28
	Tabla 13 Prueba de comparación de las diferencias de medias con el método Tukey	29
1	Tabla 14 Análisis de costos de concreto convencional.....	41
	Tabla 15 Análisis de costos de concreto modificado incorporando 2.5% polvo de mármol y 2.5% arcilla bentonita.....	41
	Tabla 16 Análisis de costos de concreto modificado incorporando 5% polvo de mármol y 5% arcilla bentonita.....	42
	Tabla 17 Análisis de costos de concreto modificado incorporando 7.5% polvo de mármol y 7.5% arcilla bentonita.....	42
	Tabla 18 Análisis de costos de concreto modificado incorporando 10% polvo de mármol y 10% arcilla bentonita.....	43
	Tabla 19 Análisis de reducción de CO ₂ por bolsa de cemento Yura	43

3

INDICE DE FIGURAS

28

52

9

11

1

Figura 1 (a) Horno artesanal de la calcinación de arcilla bentonita, (b) Arcilla bentonita calcinado de color marrón.....	14
Figura 2 (a) Talleres de marmolerías de fábrica de lapidas, (b) Muestras de polvo de mármol color blanco tamizado	14
Figura 3 (a) Prueba de resistencia a compresión en espécimen cilíndrica, (b) Prueba de flexión en viga.....	18
Figura 4 (a) Prueba de slump muestra patrón, (b) Prueba de slump de incorporación combinación de 20%	20
Figura 5 Resistencia a compresión a 7, 14 y 28 días	22
Figura 6 Incremento en porcentajes de edades de 7, 14 y 28 días	22
Figura 7 Resistencia a tracción a edades de 7, 14 y 28 dias de curado.....	24
Figura 8 Resistencia a flexión a 28 dias de curado.....	25
Figura 9 Comportamiento de resistencia a compresión.....	26
Figura 10 Comportamiento de resistencia a tracción.....	27
Figura 11 Comportamiento de resistencia a flexión	27
Figura 12 Análisis de costo unitario de concreto tradicional y concreto modificado.....	30

Desempeño de un concreto de alta resistencia incorporando arcilla bentonita y polvo de mármol

RESUMEN

El cemento genera considerables cantidades de emisiones de dióxido de carbono en su producción, son gases tóxicos para el medio ambiente, a la vez reducir el costo del cemento, con la sustitución de materiales reciclados alternativos en las mezclas de concreto. El objetivo es evaluar las propiedades mecánicas del concreto de alta resistencia con incidencia en diversos porcentajes de 0%, 5%, 10%, 15% y 20% y combinaciones de polvo de mármol y arcilla bentonita como material aglutinante sustituyente del cemento. La metodología del estudio es cuasi-experimental y cuantitativo, empleando el método de ACI-211.4, analizando mediante la mezcla de $f'_c=450 \text{ kg/cm}^2$, se utilizó un total de 105 muestras de concreto especímenes cilíndricos y vigas de los cuales para determinar las propiedades mecánicas a compresión, tracción y flexión del concreto después de 28 días. Dado como resultados de las resistencias óptimos a compresión y tracción aumentan en 520.48 kg/cm^2 y 38.31 kg/cm^2 con sustitución de 10%, y la resistencia a flexión optima es 50.99 kg/cm^2 con incorporación de 5%. En conclusión, se ha obtenido un concreto más resistente a un menor costo y así ayudar a la industria de la construcción, y también a la disminución de emisión de dióxido de carbono.

Palabras clave: polvo de mármol; arcilla bentonita; propiedades mecánicas; concreto alta resistencia; compresión.

Performance of high strength concrete incorporating bentonite clay and marble dust

ABSTRACT

Cement generates considerable amounts of carbon dioxide emissions in its production, which are toxic gases for the environment, while reducing the cost of cement, with the substitution of alternative recycled materials in concrete mixtures. The objective is to evaluate the mechanical properties of high-strength concrete with incidence in various percentages of 0%, 5%, 10%, 15% and 20% and combinations of marble dust and bentonite clay as a cement substitute binder material. The methodology of the study is quasi-experimental and quantitative, using the method of ACI-211.4, analyzing by means of the mixture of $f'_c=450 \text{ kg/cm}^2$, a total of 105 samples of concrete cylindrical specimens and beams were used to determine the mechanical properties to compression, traction and flexion of the concrete after 28 days. Given as results the optimum compressive and tensile strengths increase by 520.48 kg/cm^2 and 38.31 kg/cm^2 with 10% substitution, and the optimum flexural strength is 50.99 kg/cm^2 with 5% incorporation. In conclusion, a more resistant concrete has been obtained at a lower cost, thus helping the construction industry and also reducing carbon dioxide emissions.

Keywords: marble powder; bentonite clay; mechanical properties; high-strength concrete; compression.

1. INTRODUCCIÓN

El material que más utilizan actualmente en el sector de la construcción es el cemento [1], en el concreto se utiliza ampliamente debido a su trabajabilidad y resistencia [2]. El concreto de alta resistencia se utiliza normalmente en estructuras debido al rápido crecimiento en el desarrollo de superestructuras como edificios [3], presas, puentes, cimientos marinos, etc. [4]. La principal diferencia entre el concreto de alta y normal resistencia [5], es la proporción de cemento con otros materiales y la relación agua-cemento (A/C) [6]. En otras palabras, el concreto más fuerte necesita una mayor concentración de cemento que el concreto más débil. En consecuencia, la mayor utilidad de concreto de alta resistencia aumenta la necesidad de cemento [7]. La fabricación del cemento portland tiene muchos inconvenientes, incluidos los altos costos de producción, también se producen de dióxido de carbono (CO₂) y gases tóxicos [8]. Aproximadamente el 10% del CO₂ a mundial se emite durante la producción de cemento, que es un ingrediente vital del concreto. El aumento de calentamiento global y el cambio climático se ven generados por la fabricación de cemento [9].

El agotamiento de los activos naturales es el efecto de una mayor utilización de los recursos naturales para la fabricación de cemento [2]. La explotación de los residuos sólidos y constituyentes no utilizados como material para reemplazar parcialmente la cantidad de cemento portland (PC) es un esfuerzo por abordar las preocupaciones principales [10]. La rápida urbanización e industrialización han resultado en un exceso de materiales y los residuos se han visto sobrecarga de materiales reciclados y basuras de diferentes sectores industriales y agrícolas. Esto ha llevado a la degradación del suelo y cuestiones de salud de las personas que viven alrededor. En consecuencia, la incorporación parcial de la concentración de PC con constituyentes cementantes no solo mejora el requisito de PC como principal material aglutinante y reduce el consumo de no renovables, sino que también ofrece un propósito para la reutilización de suministros no utilizados que de otro modo terminarían en vertederos [11]. Los residuos sólidos y la basura accesibles localmente deben usarse como compuestos de hormigón reciclado [12].

7 La economía de Pakistán depende de sus sectores de mármol y cerámica. Esta industria crea basura como polvo, lodo y canicas de diferentes tamaños que se han roto. El mármol es una roca compactada y metamórfica [6], el carbonato cálcico es el componente principal del mármol, que experimenta un mayor grado de dureza cuando se somete a altas temperaturas y presiones respectivamente [13]. El mármol es un

producto del uso mundial de mármoles para fines decorativos, lapidas y otros [14]. La producción, pulido y acabado del mármol producen residuos considerables. Los residuos de polvo de mármol comprenden alrededor del 20-30% de un bloque de mármol [15].

La arcilla es un material de composiciones mineralógicas, de sustancia comúnmente disponible y económica [16], que en su estado natural no presenta propiedades puzolánicas, ya que su estructura cristalina no permite la liberación de cada componente capaz de reaccionar químicamente. Por lo que la arcilla pasa por un proceso activación y se realiza a través de la calcinación de las arcillas al quemarse la arcilla se activa y puede usarse como un material cementicio suplementario (SCM) [17]. En particular la aplicación en la gestión de la construcción es amplia e incluye una amplia gama de temas. Esta investigación se concentra en la incorporación de arcillas calcinadas como SCM en aglutinantes en reemplazo de cemento en concreto. La utilización de materiales cementantes suplementarios (SCM) [18] como la arcilla calcinada [19] ayuda a disminuir la emisión de dióxido de carbono y el agotamiento de los recursos naturales, especialmente en las naciones en desarrollo. La arcilla se calcina calentando a una temperatura entre 700°C - 850°C. Dado que la temperatura de calcinación es baja, en comparación con la producción de clinker, no se necesita equipo sofisticado para producir la arcilla calcinada. La arcilla se puede calcinar en hornos rotatorios convencionales, unidades de calcinación instantánea, hornos de lecho fluidizado, normalmente utilizados en la industria cerámica/refractaria [20].

En los últimos ocho años, el costo del cemento en Perú ha aumentado constantemente, pasando de S/. 22.07 a S/. 30.60 [21], volviéndose un material de construcción cada vez más sobrevalorado, así mismo se tiene acumulación de desechos de mármol generados por empresas peruanas, los cuales vienen generando problemas ambientales. Para abordar esta situación, en esta investigación se ha propuesto emplear polvo de mármol en la industria de la construcción. Además, se tiene yacimientos de arcilla medicinal verde, también se puede encontrar con nombre científico montmorillonita o bentonita en las comunidades como Acora, Asillo, Azángaro y Huancané en la región Puno lo que ha despertado un interés para ser utilizados como sustitutos parciales del cemento debido a su escasa aplicación en el sector constructivo. Es una arcilla de grano muy fino que se forma a partir de ceniza volcánica compuesto principalmente en minerales arcillosos expansibles, normalmente bentonita se activa con agua para que adquiera una consistencia pastosa, como de barro. Que hay mucho trabajo de investigación realizado sobre la arcilla calcinada y el polvo de mármol en la teoría, a incorporarse ya sea individualmente o combinados

con otros materiales, pero hay una investigación limitada sobre el uso combinado de arcilla bentonita (CB) y polvo de mármol (MDP) como SCM en concreto.

Según antecedentes, se han estudiado ya la incorporación de la arcilla calcinada que aumenta significativamente las resistencias mecánicas del concreto [22]. También, el uso de 15% de MDP como SCM está proporcionando la máxima resistencia del concreto, se realizó un trabajo experimental en el concreto con acumulación de 10% de humo de sílice (SF) y 20% de polvo de mármol residual (WMP) están mejorando las resistencias optimas las características del concreto [23], que se pudo mejorarse incorporando humo de sílice (SF) y WMP. Esta investigación se estudió los efectos del SF (0%, 2,5%, 5% y 10%) y el WMP (0%, 5%, 10%, 15% y 20%) en el concreto celular en sus características mecánicas. En otra investigación con la incorporación de polvo de mármol (MDP) y arcilla calcinada (CC) como SCM en concreto de alta resistencia puede reducir el impacto ambiental y reducir la cantidad de PC en las mezclas. Este estudio se realizó en concreto que contiene 0%, 5%, 10%, 15% y 20% de MDP y CC como materiales cementantes solos y en combinación. Además, cuando la cantidad de MDP y CC como SCM en la mezcla aumenta, del concreto su resistencia disminuye. Además, la resistencia a compresión, flexión y tracción por hendidura aumentan, respectivamente, al 10% de SCM (5% de MDP y 5% de CC) durante un período de 28 días de curado [24].

Se incorporo materiales de desecho como polvo de mármol (MDP) y cenizas volantes (FA) como sustituyente parcial de cemento para las mezclas de concreto. Se utilizó el reemplazó del 5%, 10%, 15% y 20% de MDP y FA en peso del aglutinante de manera combinada del cemento respectivamente. Se investigo la trabajabilidad en estado fresco y las características mecánicas a compresión y flexión del concreto después de 28 días, en donde se observó que una combinación del 10% (5% MDP y 5% FA) logró la resistencia más alta. Además, la utilización combinada de FA y MDP también permitió una reducción en el carbono incorporado. Disminuyó el costo del concreto, lo que dio como efecto un concreto ecológico y de alta resistencia [25]. En la siguiente investigación se estudió las características físicas y mecánicas del concreto de alta resistencia con cemento parcialmente reemplazado por polvo de mármol de desecho. El cemento se ha reemplazado por polvo de mármol al 0%, 5%, 10%, 15% y 20% en este estudio. Se determinaron las características mecánicas a compresión y flexión del concreto a 28 días [26].

2. MATERIALES Y METODOS

2.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

2.1.1. CEMENTO PORTLAND (PC)

En este estudio se utilizó el cemento portland, es fabricado bajo estrictos estándares, con la utilización de clinker y yeso de calidad superior, que se han molido en un entorno industrial hasta alcanzar un alto grado de finura. Sus parámetros técnicos y conformidad con los requisitos NTP 334.009 [27]. El peso específico según método de prueba de densidad de cemento hidráulico de la Norma ASTM C188-95 [28], oscila entre 3.10 a 3.15 y del cemento portland tipo I de las especificaciones es de 3.15 gr/cm³.

2.1.2. AGREGADO FINO

El árido fino se extrajo de la cantera Cabanillas, los procedimientos del muestreo establecidos en la NTP 400.010 [29], de los cuales las pruebas deben realizarse para determinar si el agregado cumple o no las normas de calidad del pliego de condiciones que se suministra, según los parámetros indicados en la NTP 400.037 [30] y para la gradación requerida del tamaño de las partículas, se observa los resultados en la Tabla 1.

Tabla 1

Características físicas agregado fino

Características físicas	Agregado fino (arena)	Unidad
Contenido de Humedad	5.58	%
Peso Específico	2.50	gr/cm ³
Absorción	3.33	%
Peso Unitario Suelto (P.U.S.)	1689	kg/m ³
Peso Unitario Compacto (P. U.C)	1573	kg/m ³
Módulo de Fineza (Mf)	3.11	-

Fuente: Elaboración Propia **Nota:** Datos obtenidos en el laboratorio durante el año 2024.

2.1.3. AGREGADO GRUESO

La piedra natural chancada se utilizó como árido grueso se extrajo de la cantera Cabanillas, con un tamaño máximo nominal de $\frac{3}{4}$ " equivalente a 19.00mm (Huso N°67) según el ASTM C-33 [31], la tabla 2 muestra los resultados de las pruebas.

Tabla 2

Características físicas agregado grueso

Características físicas	Agregado grueso (grava)	Unidad
Contenido de Humedad	0.34	%
Peso Específico	2.61	gr/cm ³
Absorción	1.72	%
Peso Unitario Suelto (P.U.S.)	1545	kg/m ³
Peso Unitario Compacto (P. U.C)	1330	kg/m ³

Fuente: Elaboración Propia **Nota:** Datos obtenidos en el laboratorio durante el año 2024.

2.1.4. ARCILLA BENTONITA (CB)

La recolección y selección de la arcilla en su estado natural es un procedimiento esencial, ya que esto depende la posterior producción de la arcilla calcinada. El muestreo se realiza de talud visible de la cantera Calahuyo, Vilquechico - Huancané – Puno, una arcilla sin impurezas, ya que se encuentra en pleno estado de exploración y la cantidad obtenida de las muestras inalteradas fue una cantidad aproximada de un total de 20 kg, una vez extraída y seleccionada la arcilla bentonita como materia prima en condición seca y color marrón es llevado al horno artesanal que pasa por una fase de calcinación en un rango de temperatura entre 700°C a 850°C y cual realizamos esa medición de temperatura está a 780°C el cual cumple con el parámetro, que se mide con el controlador de temperatura digital de Fuji Electric France PID, una vez controlada y calcinada la arcilla bentonita se procedió a su extracción del horno y posterior trituración en una bandeja golpear manualmente con un combo de 4 libras, luego se realiza al control del material con el tamizado, con el tamiz malla N° 100 equivalente a 0.149 mm ASTM C-33 [31] como se observa en la figura 1. Y la arcilla bentonita tiene su característica física de peso específico el valor de 2.26 gr/cm³.

Figura 1

(a) Horno artesanal de la calcinación de arcilla bentonita, (b) Arcilla bentonita calcinado de color marrón



(a)



(b)

2.1.5. POLVO DE MÁRMOL (MDP)

La muestra de polvo de mármol es recolectada y seleccionada del corte, el moldeado y el pulido de las fábricas de lapidas de marmolerías en condición seca y color blanco de la Av. Cementerio de la ciudad de Arequipa, es utilizado el material reciclado y se realiza la selección del material con el tamizado de partículas, con el tamiz malla N° 325 equivalente a $45 \mu\text{m}$ ASTM-E11 [32], el polvo de mármol tiene su característica física de peso específico el valor de 2.68 gr/cm^3 .

Figura 2

(a) Talleres de marmolerías de fábrica de lapidas, (b) Muestras de polvo de mármol color blanco



(a)



(b)

2.2. RELACIÓN DEL CEMENTO PORTLAND ENTRE ARCILLA BENTONITA Y EL POLVO DE MÁRMOL

El cemento portland (PC), el polvo de mármol (MDP) y la arcilla bentonita (CB) se empleó como ingredientes aglutinantes en la mezcla de concreto de alta resistencia. Ambos materiales MDP y CB se utiliza como sustitutos del PC y así también reducir en menor cantidad el cemento, costos y lo que contribuye en la disminución de emisión de dióxido de carbono (CO_2) hacia el medio ambiente. Los materiales primarios para la producción del cemento portland son minerales y su composición química [24] y en el análisis químico en laboratorio el ensayo de análisis por difracción de rayo X (XRD) para identificar cual es la composición química de MDP y CB, se observa los resultados de las muestras en la Tabla 3, tienen similitud en las características químicas del PC, MDP y CB en Oxido de Calcio (CaO), Dióxido de Silicio (SiO_2), Carbonato cálcico (CaCO_3) y Sulfato Cálcico (CaSO_4). Y se tienen también una relación en características físicas de peso específico entre PC, CB y MDP.

Tabla 3

Composición química de cemento portland, arcilla bentonita y polvo de mármol

Material	Composición química (%)								Características físicas (gr/cm^3)
	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	CaCO ₃	CaSO ₄	
PC	60.22	20.78	5.11	3.17	4.00	2.5	4.6	1.6	3.15
CB	1.02	89.15	-	-	5.57	-	-	3.16	2.26
MDP	1.23	-	-	-	-	-	55.5	21.06	2.68

Fuente: Elaboración Propia **Nota:** Datos obtenidos en el laboratorio durante el año 2024.

2.3. METODOLOGÍA DE ESTUDIO

El estudio es de tipo aplicado y cuantitativo [33], donde los datos de medición son numéricos y se usarán análisis estadísticos para comprobar la hipótesis. El estudio se ha planteado un diseño cuasi-experimental, en el cual los grupos de comparación se manipularán la variable independiente arcilla bentonita (CB) y polvo de mármol (MDP) para conocer su impacto en la variable dependiente (concreto de alta resistencia). La investigación tiene un nivel explicativo, en relación a lo que se incorpora un material (reciclado) producto de cortes y pulidos de restos de materiales en caso del MDP y la CB existente en la zona estudiada, con el fin de conocer su viabilidad y comportamiento dentro del concreto. El diseño

muestral de la población está compuesto por el concreto $f'_c=450 \text{ kg/cm}^2$ y la muestra está conformado por diferentes especímenes del concreto. Además, la técnica de recogida de datos en el estudio se utilizó la observación, ya que mediante diferentes pruebas experimentales del concreto son sometidas a distintas pruebas de laboratorio, con el objetivo de encontrar datos que demuestren la influencia de un elemento sobre otro.

2.4. MÉTODO DE DISEÑO DE ACI-211.4

El método planteado del comité ACI-211.4 [34] es para concreto de alta resistencia que abarca resistencia a compresión igual o mayor a 420 kg/cm^2 . Al igual que el método para concreto convencional, las consideraciones fundamentales de este método consisten en averiguar cuánto material se necesita para fabricar concreto que sea resistente, a un costo bajo, y que satisfaga los requisitos de trabajabilidad y resistencia necesarios para un concreto de alta resistencia. Establecer el tamaño máximo del árido según de los requisitos de resistencia. La tabla 4 indica el tamaño máximo del árido grueso. El enfoque del comité para el diseño de la mezcla contiene los pasos y tablas.

Tabla 4

Para obtener el tamaño máximo nominal del árido

Resistencia requerida del concreto (kg/cm^2)	Tamaño máximo del árido
menor a < 630	$3/4'' - 1''$
mayor a > 630	$3/8'' - 1/2''$

Fuente: American Concrete Institute (ACI-211.4)

Para el espécimen típico de resistencia del concreto de $f'_c = 450 \text{ kg/cm}^2$, el tamaño máximo nominal del árido grueso en este estudio es de $3/4''$. El seleccionar el slump para concreto en estado fresco los valores sugeridos para el slump se ven en la tabla 5. El concreto fabricado es sin superplastificante de $2''$ a $4''$ el Slump, que puede escogerse según el estudio a hacerse.

Tabla 5

Slump indicado para concretos de alta resistencia con y sin superplastificante

Slump con superplastificante	Slump sin superplastificante
$1''$ a $2''$	$2'' - 4''$

Fuente: American Concrete Institute (ACI-211.4)

2.5. DISEÑO DE MEZCLA

De acuerdo con ACI-211.4, se realizó cinco diseños de mezcla de concreto de alta resistencia para una resistencia de 450 kg/cm². La mezcla control y 4 mezclas en donde se reemplazó parcialmente al cemento portland con la incorporación de la arcilla bentonita y polvo de mármol en los porcentajes de 5%, 10%, 15%, y 20%. Se muestra las proporciones finales de la mezcla del concreto, en la tabla 6.

Tabla 6

Proporciones finales del diseño de mezcla del concreto alta resistencia (kg/m³)

Identificación de mezcla	Materiales aglutinantes (%)			Cemento Portland Tipo I (kg)	Agua (Lt)	Agregado grueso (kg)	Agregado fino (kg)	Reemplazo parcial del cemento (kg)	
	CP	MDP	CB					MDP	CB
MP	100	0	0	543.0	165	1085	608	0	0
CPG1	95	2.5	2.5	515.8	165	1085	608	13.6	13.6
CPG2	90	5.0	5.0	488.6	165	1085	608	27.2	27.2
CPG3	85	7.5	7.5	461.6	165	1085	608	40.7	40.7
CPG4	80	10.0	10.0	434.4	165	1085	608	54.3	54.3

Fuente: Elaboración Propia **Nota:** MP es mezcla patrón, CPG1, CPG2, CPG3 y CPG4 son las combinaciones de MDP y CB.

2.6. CARACTERISTICAS MECÁNICAS

La elaboración de concreto de alta resistencia debe basarse en los requisitos fundamentales de ser rentable, tener un proceso de colocación sencillo y tener en cuenta la correlación de diseño de resistencia y durabilidad estas cualidades pueden conseguirse seleccionando cuidadosamente los componentes del concreto y las proporciones en que se mezclan. Los procesos de fabricación y curado de vigas y especímenes cilíndricos utilizando muestras de concreto fresco se realizaron según ASTM C-31 [35]. Se hizo las pruebas de resistencia a compresión y tracción del concreto de la indicado en las normativas ASTM C-192 [36] y ASTM C-496 [37] respectivamente. Se realiza por compresión y hendimiento de las probetas cilíndricas de concreto se ensayaron con la muestra patrón y porcentajes 5%, 10%, 15% y 20%, las muestras de especímenes cilíndricos son de 15x30cm, normalmente se moldean tres o más muestras para cada edad de prueba en laboratorio, que indica el ASTM C-192 [36] a los 7, 14 y 28 días, se realizó en total 90 muestras. Y la resistencia a flexión en base a la normativa ASTM C-78 [38] se prueba con la muestra patrón y en los porcentajes se hicieron tres pruebas de cada porcentaje, usando una viga simple de prisma de 15x15x51cm con carga en los tercios, a la edad de 28 días de curado en total 15 muestras y el total de las muestras ensayados son 105 muestras estudiadas. Para la rotura de probetas cilíndricas y vigas se utilizó la máquina de prueba de compresión hidráulica PyS SYE-2000

DIGITAL DISPLAY, placa de compresión superior fija compresora que tiene una capacidad máxima de 2000 kN.

Figura 3

(a) Prueba de resistencia a compresión en espécimen cilíndrica, (b) Prueba de flexión en viga



(a)

(b)

3. RESULTADOS Y DISCUSION

3.1. PRUEBAS DE CONCRETO FRESCO

En esta investigación se realizó las pruebas de concreto en estado fresco para verificar la trabajabilidad y consistencia del concreto de alta resistencia. Se hicieron en laboratorio las pruebas de asentamiento (mm) según la ASTM C-143 [39]. Para lo cual se analizó el espécimen típico y en las sustituciones de 5%, 10%, 15% y 20% incorporando con MDP y CB. El asentamiento del concreto de acuerdo al diseño se empleó cono de Abrams para el control de Slump en concreto fresco de un rango a cumplir según ACI-411.4 [34] de 2" (50.80 mm) - 4" (101.60mm), dando como resultados de 95mm, 89mm, 83mm, 76mm y 70mm. Esto quiere decir, que los asentamientos que mostraron en el uso combinado de MDP y CB en concreto la sustitución aumenta, ocasiono una reducción en la trabajabilidad de dicho concreto, se debe a la absorción de agua de MDP y CB cuando estos materiales se usan en estado fresco. Teniendo en cuenta lo anterior, se refuta la hipótesis nula y se acepta la hipótesis de estudio, según la cual, si influye positivamente la trabajabilidad del concreto que estas dentro de los parámetros según el diseño. Estos resultados son corroborados, en donde la

trabajabilidad del impacto combinado del concreto se registró en 65mm, 58mm, 48mm, 40mm y 35mm a MP, 2.5%MDP-2.5%CC, 5%MDP-5%CC, 7.5%MDP-7.5%CC y 10%MDP-10%CC como SCM, que son valores más bajo en comparación con la mezcla patrón [24]. Así también, en sus resultados de la trabajabilidad del concreto asentamiento fue de 55mm, 51mm, 48mm, 44mm y 39mm en las mezclas del concreto a medida las incorporaciones aumentan, la consistencia del concreto baja [25]. En tal sentido, de lo mencionado anterior y al analizar los resultados la trabajabilidad del concreto varía dependiendo de los diseños de mezclas y las incorporaciones de materiales que han utilizado los autores, pero el mejor valor siempre está en la mezcla patrón y las demás mezclas van reduciendo.

Tabla 7

Las características frescas de las muestras del concreto

Combinaciones	Asentamiento (mm)
CP	95
CPG1	89
CPG2	83
CPG3	76
CPG4	70

Fuente: Elaboración Propia. **Nota:** CP es la mezcla patrón, CPG1, CPG2, CPG3 y CPG4 son las mezclas con incorporaciones parciales del cemento.

Figura 4

(a) Prueba de slump muestra patrón, (b) Prueba de slump de incorporación combinación de 20%



(a)

(b)

3.2. RESISTENCIA A COMPRESIÓN

Se obtuvo los resultados de la resistencia a compresión los especímenes cilíndricos, para obtener la resistencia de concreto para resistir las cargas y es un parámetro importante a considerar durante la construcción de edificios. De las mezclas de diferentes incorporaciones de MDP y CB y a diferentes edades de curado, se aplicaron cargas progresivas hasta que las probetas se rompieran, permitiendo determinar la resistencia máxima alcanzada. La mezcla patrón alcanzo a una resistencia de 458.62 kg/cm^2 a los 28 días que representa el 101.92%, mientras la mayor resistencia optima es el reemplazo de 10 % combinando con 5%MDP y 5%CB que llego a 520.48 kg/cm^2 de resistencia que representa el 115.66%, que estos resultados están dentro de los parámetros de resistencia del concreto de alta resistencia que recomienda el ACI-211.4 $f'c \geq 420 \text{ kg/cm}^2$ (100%) y las demás sustituciones combinados de 5%, 15% y 20% desciende su resistencia a 475.27 kg/cm^2 (105.62%), 442.84 kg/cm^2 (98.41%) y 403.15 kg/cm^2 (89.59%), donde se puede mostrar en la figura 5 y figura 6. Se ha observado que el uso de CB y MDP como ingrediente sustituto del cemento en el concreto aumenta un 13.74% de la mezcla patrón a resistencia optima que proporciona mejores resultados y de acumulación adicional de CB y MDP en la mezcla disminuye la resistencia, esto quiere decir que la disminución de la capacidad de soportar a compresión del concreto se debe a la influencia de un impacto de disolución de clínker de MDP y CB en PC en la mezcla. Los hallazgos coincidieron con [40]. Este aumento de resistencia a compresión está asociado con las partículas de finura de MDP y CB que sellan los microporos dejados

por otros ingredientes de concreto. Teniendo en cuenta lo anterior, se niega la hipótesis nula y se acepta la hipótesis de estudio, según la cual, si influye positivamente en el desempeño del concreto, el empleo de diversos porcentajes de arcilla bentonita (CB) y polvo de mármol (MDP) de manera combinada como material aglutinante sustituyente del cemento. Estos resultados son corroborados en donde, en el estudio llegan a concluir que se ha percibido que el consumo de polvo de mármol y arcilla calcinada por separado y juntos como SCM en concreto de alta resistencia proporciona una buena resistencia a compresión de hasta un 10% y la acumulación suplementaria de estos materiales por separado y combinados en concreto, la resistencia se reduce [24]. Así también donde incorporaron materiales de desecho como polvo de mármol (MDP) y cenizas volantes (FA) como sustitución parcial del cemento y resultado que la combinación del 10% (5%MDP y 5%FA) logró la mayor resistencia [25]. Las cuales fueron relevantes para el estudio y de nosotros al analizar los resultados, confirmamos que hemos coincidido en la resistencia optima en el concreto a un reemplazo de 10% combinados como materiales cementantes suplementarios (SCM) del cemento, que cuando el SCM se incrementan, la resistencia disminuye. El uso de estos materiales reciclables se dan mejores resultados que en la muestra patrón del concreto.

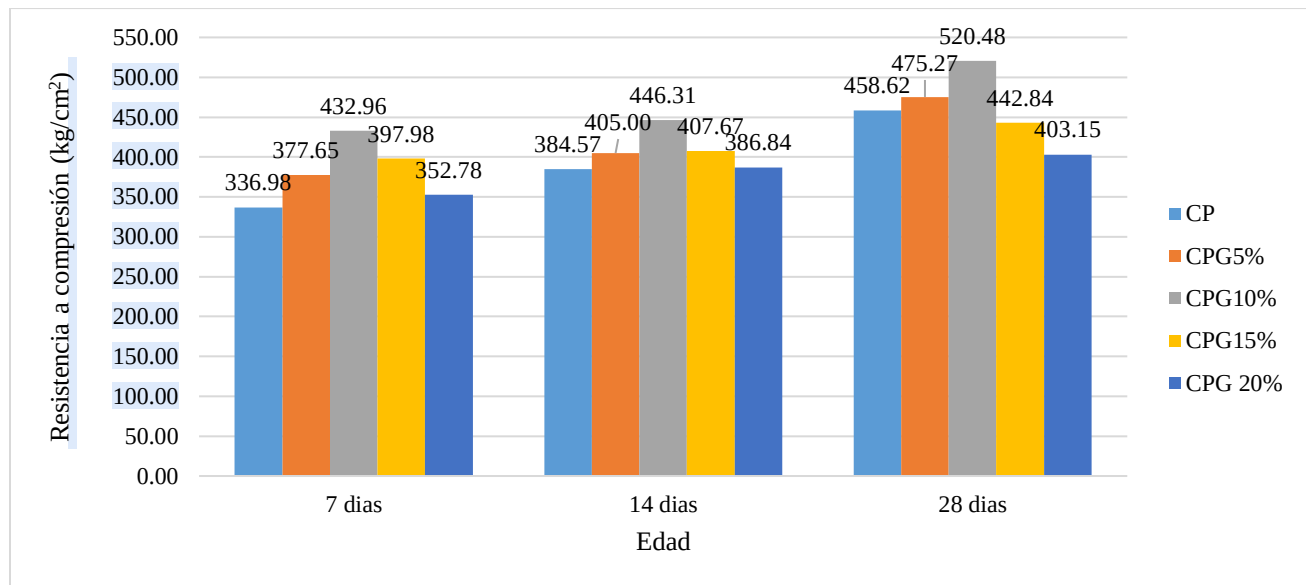
Tabla 8

Resistencia a compresión en kg/cm² a edades de 7, 14 y 28 días de curado

Dias	CP	CPG5%	CPG10%	CPG15%	CPG 20%
7	336.98	377.65	432.96	397.98	352.78
14	384.57	405.00	446.31	407.67	386.84
28	458.62	475.27	520.48	442.84	403.15

Figura 5

Resistencia a compresión a 7, 14 y 28 días

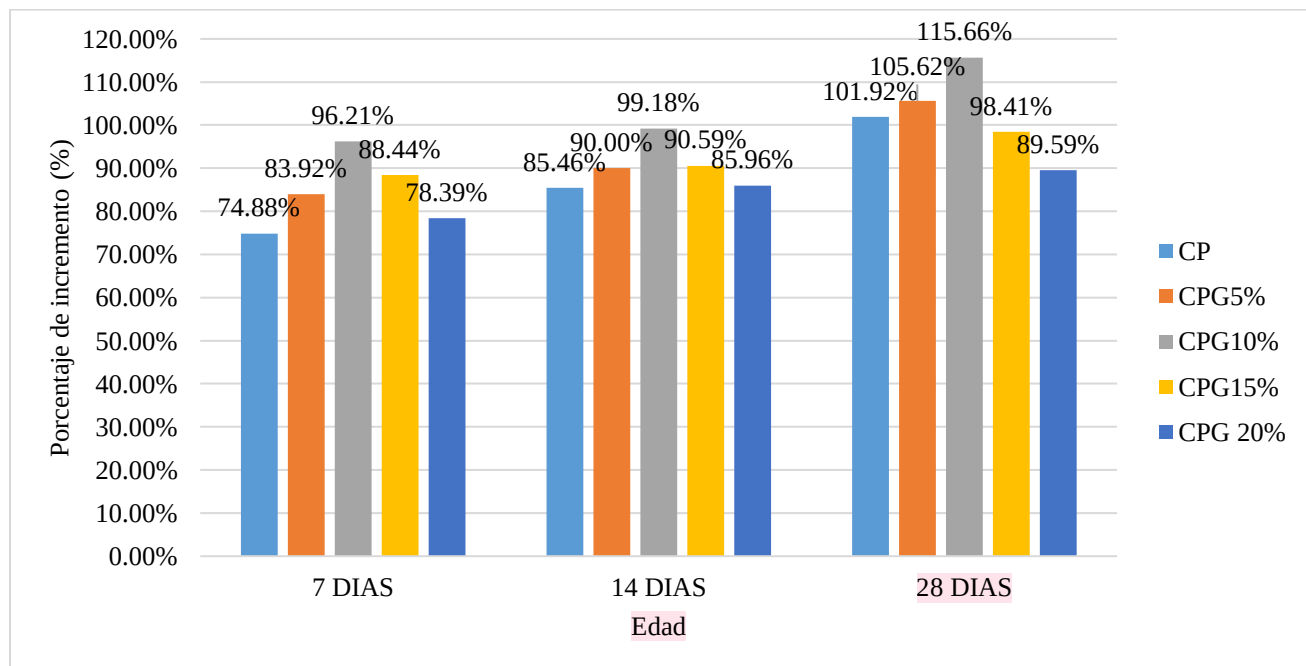


Nota: CP es la mezcla patrón, CPG5%, CPG10%, CPG15% y CPG20% son las combinaciones de MDP y CB.

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 6

Incremento en porcentajes de edades de 7, 14 y 28 días



Fuente: Elaboración Propia.

3.3. RESISTENCIA A TRACCIÓN

Los especímenes cilíndricos se sometieron a determinar la resistencia a tracción por hendimiento de concreto con incorporación de MDP y CB como SCM después de 7, 14 y 28 días, como se muestra en la tabla 9. Se pudo encontrar que la resistencia a la tracción óptima del concreto en 33.46 kg/cm², 34.63 kg/cm² y 38.31 kg/cm² como SCM en la combinación de 10% (5%MDP y 5%CB), proporciona resultados óptimos y la acumulación suplementaria de MDP y CB en el concreto de alta resistencia, la resistencia está disminuyendo y las resistencias a tracción mínimas en 19.06 kg/cm², 24.12 kg/cm² y 25.72 kg/cm² en la combinación de 20% (10%MDP y 10%CB) como sustitución de cemento del concreto. Esto indica que la combinación de MDP y CB por juntos como SCM en la fabricación del concreto está proporcionando una buena capacidad de soportar a tracción hasta 10% y la acumulación de porcentajes de estos materiales combinados en la mezcla, la resistencia se reduce. Teniendo en cuenta lo anterior, se niega la hipótesis nula y se acepta la hipótesis de estudio, según la cual, si influye positivamente en el desempeño del concreto, el empleo de arcilla bentonita (CB) y polvo de mármol (MDP) de manera combinada como SCM del cemento. Estos resultados son comparados con el estudio donde llega a concluir que las incorporaciones de polvo de mármol y arcilla calcinada por separado y juntos como SCM del concreto está suministra una mayor resistencia a tracción de hasta 10% y los demás porcentajes de incorporaciones de materiales por separado y combinados en la mezcla, la resistencia se disminuye [24]. De la misma manera se analizó la resistencia del concreto celular con humo de sílice (SF) y polvo de mármol residual (WMP), el concreto celular con 10% de SF y 5% - 20% de WMP muestra las propiedades mecánicas son óptima [23]. En este sentido, como se ha indicado anteriormente, y a través del análisis de los resultados, se comprueba que la mayor resistencia a tracción del concreto, se aumenta cuando se incorpora un 10% combinado como SCM de cemento, y la acumulación de porcentajes disminuye las resistencias.

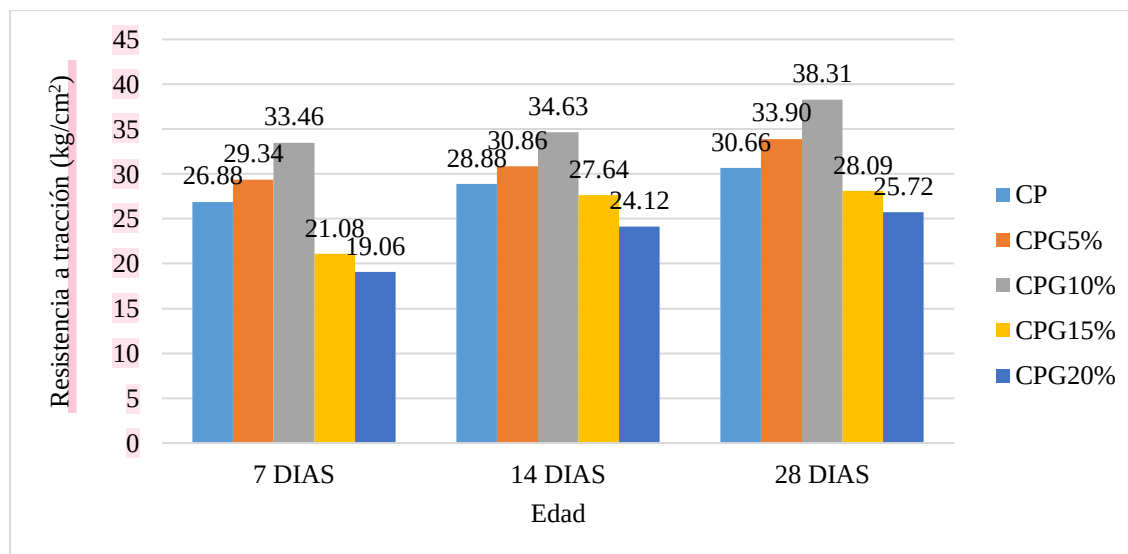
Tabla 9

Resistencia a tracción en kg/cm² a edades de 7, 14 y 28 días de curado

Dias	CP	CPG5%	CPG10%	CPG15%	CPG 20%
7	26.88	29.34	33.46	21.08	19.06
14	28.88	30.86	34.63	27.64	24.12
28	30.66	33.90	38.31	28.09	25.72

Figura 7

Resistencia a tracción a edades de 7, 14 y 28 días de curado



Fuente: Elaboración Propia.

3.4. RESISTENCIA A FLEXIÓN

Las muestras de viga simple de prisma de concreto, se sometieron con carga a los tercios para obtener la resistencia a flexión, que tiene incorporaciones porcentuales de MDP y CB combinados como SCM en el concreto y romper los especímenes de viga después de 28 días, en la tabla 10 se muestran los resultados, con la muestra patrón y las parciales sustituciones con MDP y CB del cemento en el concreto. La mayor resistencia a flexión se obtuvo en la mezcla CPG5% con 50.99 kg/cm², seguida por CPG15% con 48.25 kg/cm² esto se produjo una mejor reacción puzolánica para hacer concreto de alta resistencia, pero los demás resultados de muestra patrón y sustituciones la tendencia es decreciente, el valor más bajo de la mezcla CPG20% con 31.33 kg/cm². Esto quiere decir que el MDP facilita la accesibilidad de más hidróxido de calcio para la respuesta puzolánica, lo que favorece un mayor nivel de incorporación y que la combinación de MDP y CB es favorable, ya que consume el hidróxido de calcio libre no reaccionado y forma geles de CSH adicionales que refuerzan al concreto. Teniendo en cuenta lo anterior, se niega la hipótesis nula y se acepta la hipótesis de estudio, según la cual, si influye positivamente en el desempeño del concreto, el empleo de arcilla bentonita (CB) y polvo de mármol (MDP) de manera combinada como SCM del cemento. Estos resultados son comparados con estudios donde la incorporación de combinación hasta el 10% es óptima de polvo de mármol y arcilla bentonita como SCM a resistencia a flexión [24]. Así mismo otro estudio, en los resultados

experimentales en la incorporación de 5%, 10% y 15% con polvo de mármol en concreto, que mejoró la resistencia a flexión del concreto y más allá del 15% de incorporación, se observó una reducción de resistencia a flexión del concreto [26] . En tal sentido, bajo lo mencionado anterior y al analizar los resultados, mencionamos que la incorporación polvo de mármol y arcilla bentonita calcinada al concreto, la resistencia mejora el desempeño del concreto, cuando llega desde 5% - 15% son los rangos donde llega a las resistencias optimas, después la resistencia a la flexión disminuye.

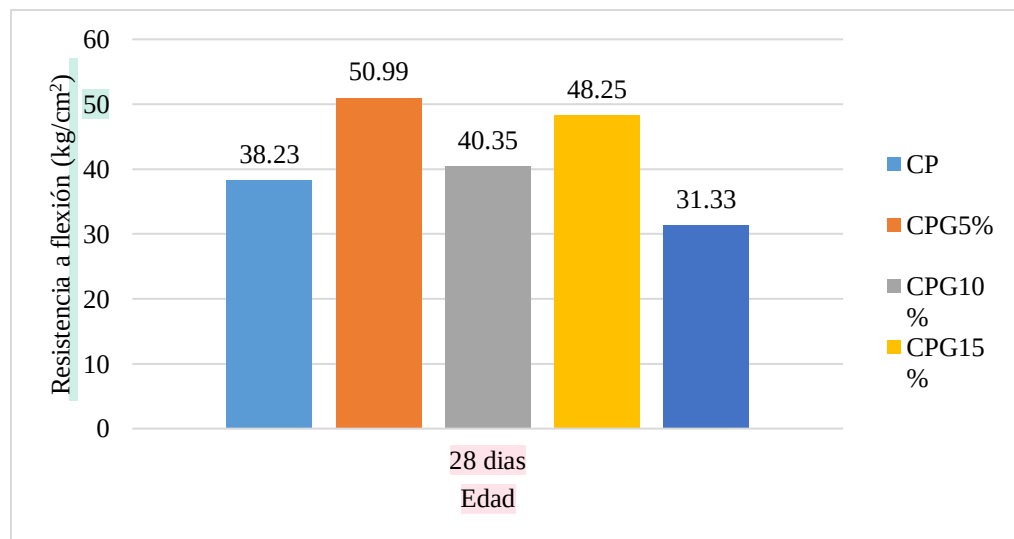
Tabla 10

Resistencia a flexión en kg/cm² a edades de 28 días de curado

DIAS	CP	CPG5%	CPG10%	CPG15%	CPG20%
28	38.23	50.99	40.35	48.25	31.33

Figura 8

Resistencia a flexión a 28 días de curado



Fuente: Elaboración Propia.

3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE RESULTADOS

Las muestras tomadas en esta investigación de lo obtenido de los resultados mediante el análisis estadístico a los 28 días de curado se evaluaron con el análisis descriptivo y análisis de varianza ANOVA [33], para inferir y relaciones en los datos de los especímenes.

Tabla 11

Análisis descriptivo (95% del intervalo de confianza para la media)

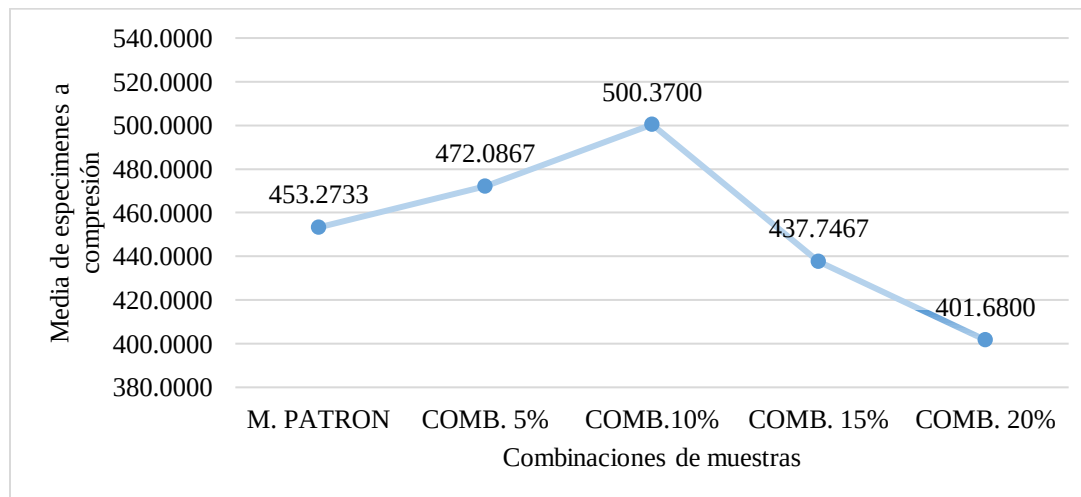
Resistencia		N	Media	Desv. Estándar	Desv. Error	Límite Inferior	Límite Superior	Mínimo	Máximo
Compresión	M. PATRON	3	453.2733	4.6450	2.6818	441.5300	464.8100	450.36	458.63
	COMB. 5%	3	472.0867	4.3595	2.5169	461.2600	482.9200	467.12	475.28
	COMB.10%	3	500.3700	17.4326	10.0647	457.0700	543.6700	489.55	520.48
	COMB. 15%	3	437.7467	5.0032	2.8886	425.3200	450.1800	432.85	442.85
	COMB. 20%	3	401.6800	2.4688	1.4254	395.5500	407.8100	398.83	403.16
	TOTAL	15	453.0313	6.7818	3.9155	436.1460	469.8780	398.83	520.48
Tracción	M. PATRON	3	30.0767	0.5052	0.2917	28.8200	31.3300	29.78	30.66
	COMB. 5%	3	32.9333	1.0358	0.5980	30.3600	35.5100	31.84	33.90
	COMB.10%	3	36.9133	1.4987	0.8653	33.1900	40.6400	35.33	38.31
	COMB. 15%	3	27.5967	0.5164	0.2981	26.3100	28.8800	27.06	28.09
	COMB. 20%	3	25.4600	0.2464	0.1422	24.8500	26.0700	25.23	25.72
	TOTAL	15	30.5960	0.7605	0.4391	28.7060	32.4860	25.23	38.31
Flexión	M. PATRON	3	37.6667	0.5774	0.3333	36.2300	39.1000	37.00	38.00
	COMB. 5%	3	45.0000	7.2111	4.1633	27.0900	62.9100	37.00	51.00
	COMB.10%	3	35.0000	8.6603	5.0000	13.4900	56.5100	25.00	40.00
	COMB. 15%	3	41.6667	5.6862	3.2830	27.5400	55.7900	37.00	48.00
	COMB. 20%	3	30.3333	1.1547	0.6667	27.4600	33.2000	29.00	31.00
	TOTAL	15	37.9333	4.6579	2.6893	26.3620	49.5020	25.00	51.00

Nota: Se observa el análisis descriptivo de los especímenes del estudio.

Los gráficos siguientes muestran los valores medios de los especímenes, la muestra patrón y las combinaciones de 5%,10% 15%, 20% de las resistencias a compresión, tracción y flexión.

Figura 9

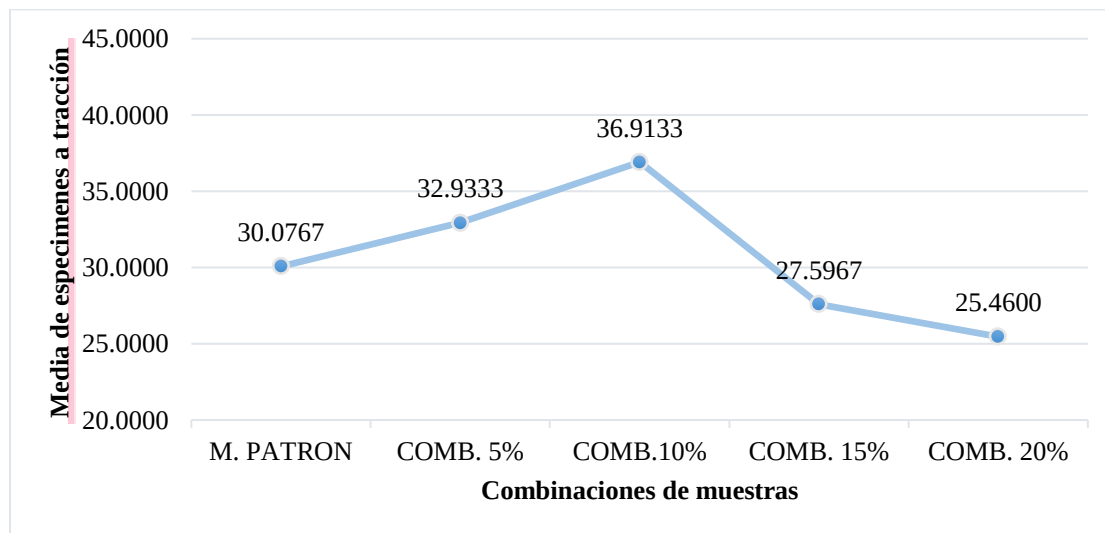
Comportamiento de resistencia a compresión



Fuente: Elaboración Propia

Figura 10

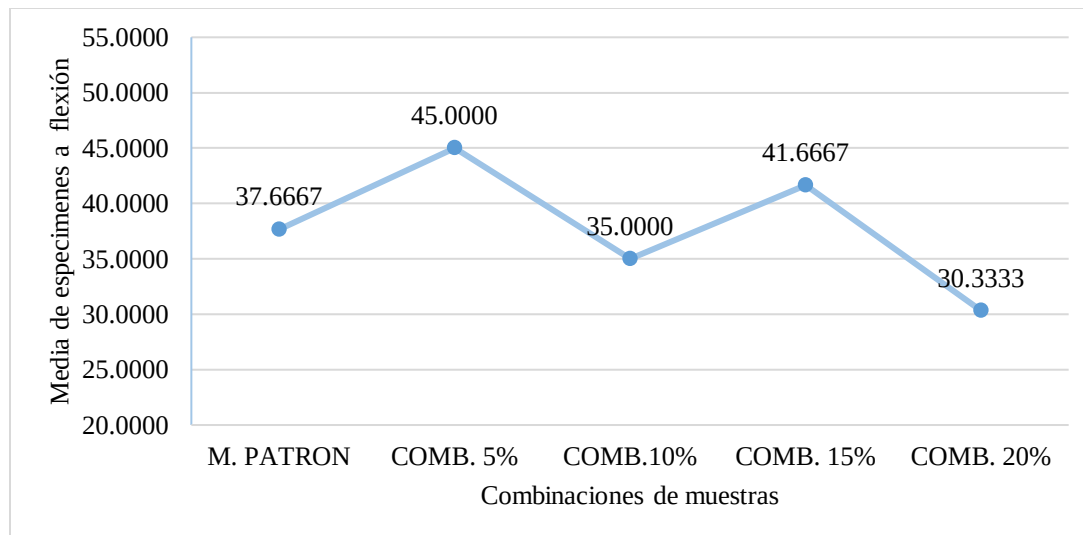
Comportamiento de resistencia a tracción



Fuente: Elaboración Propia

Figura 11

Comportamiento de resistencia a flexión



Fuente: Elaboración Propia

Se indica que el espécimen COMB.10% tiene una media mayor resistencia a compresión de las probetas. El espécimen típico (muestra patrón) y las demás combinaciones son decrecientes, se evalúa el intervalo de [457.07; 543.67]. De igual manera en resistencia a tracción en el espécimen de COMB.10% tiene una media mayor. El espécimen típico y los demás son descendientes, se evalúa el intervalo de [33.19;

44.64]. También en resistencia a flexión, se deduce que el espécimen COMB.5% tiene una media mayor. El espécimen típico y las demás combinaciones descienden. Se evalúa el intervalo de [27.09; 62.91], con un nivel de confianza de 95% contiene el promedio de resistencias del concreto y después de 28 días de curado.

Con la tabla 11 se procede a realizar el análisis de varianza ANOVA, compara las medias de tres o más grupos para ver si existe una diferencia significativa entre ellos y después se realizará la prueba de comparación (Método de Tukey).

Tabla 12

Análisis de varianza (ANOVA) a los 28 días de curado

Resistencia	Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Media cuadrática	F	Sig.
Compresión	Entre grupos	16424.082	4	4106.021	54.659	9.20E-07
	Dentro de grupos	751.204	10	75.120		
	Total	17175.286	14			
Tracción	Entre grupos	243.048	4	60.762	77.865	1.7E-07
	Dentro de grupos	7.803	10	0.780		
	Total	250.852	14			
Flexión	Entre grupos	390.933	4	97.733	3.035	0.070
	Dentro de grupos	322.000	10	32.200		
	Total	712.933	14			

Nota: Muestra de análisis ANOVA a los diferentes especímenes de resistencias.

El estadístico F, que es la relación de variación entre las variaciones intragrupo e intergrupo, se calcula para evaluar las diferencias entre dos componentes de variabilidad. Rechazamos H_0 , si F es un número grande porque la variabilidad entre las medias muestrales es mayor de lo que sería la variabilidad dentro de la muestra. Rechazamos H_0 , indicando que las medias comparadas son iguales, si $P < 0.05$. En otras palabras, si la diferencia entre las medias es estadísticamente significativa. Según el análisis, la resistencia a flexión tiene un valor P o de significación mayor a 0.05 lo que hace entender que estos datos son iguales y que las resistencias a compresión y tracción difieren significativamente entre sí.

Tabla 13
Prueba de comparación de las diferencias de medias con el método Tukey

Resistencia	Ta (Tukey)	Diferencia Poblacional	Diferencia muestral	Decisión
Compresión	23.29	A-B	18.81	No significativa
		A-C	47.10	Significativa
		A-D	15.53	No significativa
		A-E	51.59	Significativa
		B-C	28.28	Significativa
		B-D	34.34	Significativa
		B-E	70.41	Significativa
		C-D	62.62	Significativa
		C-E	98.69	Significativa
		D-E	36.07	Significativa
Tracción	2.37	A-B	2.86	Significativa
		A-C	6.84	Significativa
		A-D	2.48	Significativa
		A-E	4.62	Significativa
		B-C	3.98	Significativa
		B-D	5.34	Significativa
		B-E	7.47	Significativa
		C-D	9.32	Significativa
		C-E	11.45	Significativa
		D-E	2.14	No significativa
Flexión	15.25	A-B	7.33	No significativa
		A-C	2.67	No significativa
		A-D	4.00	No significativa
		A-E	7.33	No significativa
		B-C	10.00	No significativa
		B-D	3.33	No significativa
		B-E	14.67	No significativa
		C-D	6.67	No significativa
		C-E	4.67	No significativa
		D-E	11.33	No significativa

Nota: La diferencia poblacional se tiene como: A=M.Patrón, B=Comb.5%, C=Comb.10%, D=Comb.15% y E=Comb.20%.

Hay dos condiciones que se debe cumplir si $Ta >$ diferencia muestral no significativa y si $Ta <$ diferencia muestral significativa y que de la comparación de media diferencia en la resistencia a comprensión que indica que la muestra patrón y especímenes incorporadas con las combinaciones de 5% y 15% las medias comparadas son no significativas iguales. Y entre las combinaciones de 10% y 20% son estadísticamente significativa existe una diferencia de datos. Y la media diferencia de resistencia a la tracción que en las combinaciones de 15% y 20% las medias comparadas son iguales. Y la muestra patrón y las combinaciones de 5% Y 10% estadísticamente significativa entre las medias que existe una diferencia

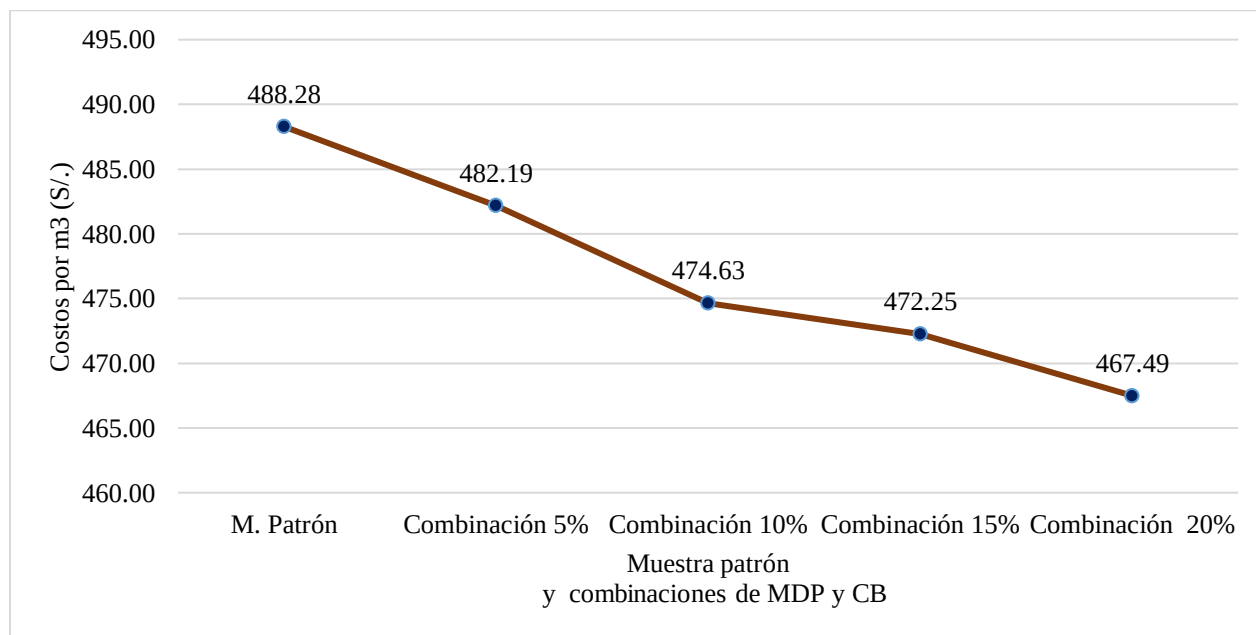
de datos. Y a determinar medias diferencias de resistencia a flexión podemos observar que la muestra patrón y la incorporación de las combinaciones de polvo de mármol y arcilla bentonita son de 5%, 10%, 15% y 20% que indican que estos datos son iguales.

3.6. ANÁLISIS DE PRECIOS DE CONCRETO CONVENCIONAL FRENTE AL CONCRETO MODIFICADO

Se han examinado los recursos de materiales, mano de obra y equipos, con el fin de comparar los precios del concreto convencional (tradicional) y del modificado para el cálculo del análisis de precio del concreto de alta resistencia que incorpora polvo de mármol y arcilla bentonita. Para examinar el concreto modificado de alta resistencia que incorpora mezclas de polvo de mármol y arcilla bentonita, cuya producción es menos costosa que la del concreto tradicional, se ha realizado el análisis del precio unitario con referencia a edificaciones de concreto. En la resistencia óptima a compresión de la combinación del 10%, se tiene una reducción de S/. 488,28 a S/. 474,63, resultando una disminución del costo/beneficio de incorporar parcial el cemento portland en producción de concreto de 2.80% por metro cubico, como se muestra en la figura 10.

Figura 12

Análisis de costo unitario de concreto tradicional y concreto modificado



Fuente: Elaboración Propia.

3.7. REDUCCIÓN DE DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂)

Se ha realizado una relación indirecta a través de las especificaciones de ficha técnica del cemento yura que nos dice la cantidad de CO₂ que tiene por peso de bolsa de cemento portland tipo I que tiene 37 kg CO₂ e/bolsa a 42.5 kg, mediante esta relación indirecta nosotros indicamos que se ha reducido una porción de cemento y a su vez la proporción de CO₂ a 32.75 kg CO₂ e/bolsa a un porcentaje de 10% en la incorporación de la combinación entre polvo de mármol y arcilla bentonita, del concreto modificado en la resistencia a compresión optima de concreto de alta resistencia, y reducir la contaminación al medio ambiente.

3.8. LIMITACIONES DEL ESTUDIO

Los autores reconocen que en este estudio se tiene limitaciones. En la evaluación del desempeño de la durabilidad del concreto de alta resistencia a largo plazo en condiciones de clima y cambios de temperatura extremos, permeabilidad entre otros. Y cuando es mayor el nivel de sustitución al PC con MDP y CB en concreto, la mezcla se vuelve más endurecido después del 10% de SCM y la resistencia del concreto reduce, al incorporar un aditivo o un superplastificante al concreto, se puede tal vez aumentar la resistencia del concreto mezclado con SCM y se puede optimizar las características mecánicas del concreto de alta resistencia.

4. CONCLUSIONES

Se evaluó las propiedades mecánicas de un concreto de alta resistencia bajo la incidencia de diversos porcentajes de incorporaciones de MDP y CB como materiales aglutinante sustituyente del cemento. Validando el comportamiento de MDP y CB en concreto modificado, que ofrece los mejores resultados para el sector de la construcción. En base al resultado cuasi-experimental y las discusiones, se puede obtener las siguientes conclusiones:

- Se analizo las propiedades físicas de los materiales como áridos grueso y fino, y a la vez la composición química por el análisis por difracción de rayo X (XRD) de MDP y CB que se ha utilizado como reemplazo parcial del cemento en el diseño de mezcla. De las reacciones químicas el Dióxido de Silicio (SiO₂) y Sulfato Cálcico (CaSO₄) ha hecho que se reduzca el cemento portland para llegar a mayor resistencia en las mezclas del concreto.
- Se determino el concreto en estado fresco en la incorporación de MDP y CB como SCM disminuyo

los valores de asentamiento en todas las muestras en comparación con la mezcla patrón. Esta reducción está en base a mayor absorción de agua de MDP y CB como SCM que de cemento portland.

- Se ha encontrado que, en los resultados de mayor resistencia está en la incorporación de 10% combinando de MDP y CB como SCM del cemento portland es óptimo, lo obtenido son mejores, además nosotros acertamos de que este es mejor resultado puesto que cumple la propiedad de resistencia a compresión por eso resaltamos de los resultados que hemos obtenido después de 28 días de curado, que llegó a 520.48 kg/cm^2 de resistencia que representa el 115.66%. Y la mezcla patrón alcanza una resistencia de 458.62 kg/cm^2 que representa el 101.92%, y la diferencia es 13.74% menor que resistencia óptima. Además, se observó que de acumulación adicional de MDP y CB en la mezcla disminuye la resistencia. Este concreto de alta resistencia proporciona resultados óptimos en el sector de la construcción para elaboración de edificaciones, puentes, etc. Y en la resistencia a tracción indirecta óptima del concreto es 38.31 kg/cm^2 con 10% combinado de incorporación de MDP y CB del concreto, la acumulación de porcentajes de reduce las resistencias. También la mayor resistencia a flexión se obtuvo en la mezcla CPG5% con 50.99 kg/cm^2 , seguida por CPG15% con 48.25 kg/cm^2 esto se produjo una mejor reacción puzolánica para el concreto, y los demás resultados de muestra patrón y sustituciones la tendencia es decreciente, cuando llega de 5% a 15% son los rangos donde llega a las resistencias óptimas, después la resistencia a flexión disminuye.
- Por la relación indirecta del cemento portland y la incorporación de materiales con la resistencia óptima, se logró permitir una reducción de 10% de dióxido de carbono (CO_2) del impacto al medio ambiente. Y de análisis de costos del concreto por metro cúbico se obtuvo una reducción de S/. 488.28 a S/. 474.63 de concreto convencional y concreto modificado óptimo una disminución del costo/beneficio de 2.80%, logrando obtener concreto más resistente a un menor costo. También se indica que en este estudio se tiene limitaciones en la evaluación del desempeño de la durabilidad al desgaste del concreto de alta resistencia, a largo plazo en condiciones de clima y cambios de temperatura extremos, permeabilidad entre otros.

5. REFERENCIAS

- [1] C. Gagg, «Cement and concrete as an engineering material: An historic appraisal and case study analysis,» *Engineering Failure Analysis*, vol. 40, May 2014.
<https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2014.02.004>
- [2] A. Ahmed Jhatial, P. Wan Goh y A. Khan Mastoi, «Environmental assessment and mechanical properties of Polypropylene fibres reinforced ternary binder foamed concrete,» *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 29, August 2021.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-021-15076-x>
- [3] M. S. Matsumoto y N. H. Narihara, «Structural Design of an Ultra High-rise Building Using Concrete Filled Tubular Column with Ultra High Strength Materials,» *15th World Conf. Earthq. Eng.*, 2012.
- [4] M. Shannag, «High strength concrete containing natural pozzolan and silica fume,» *Cement and Concrete Composites*, vol. 22, December 2000. [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(00\)00037-8](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(00)00037-8)
- [5] T. H. Wee, Y. Matsunaga, Y. Watanabe y E. Sakai, «Production and properties of high strength concretes containing various mineral admixtures,» *Cement and Concrete Research*, vol. 25, n° 4, May 1995. [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(95\)00060-P](https://doi.org/10.1016/0008-8846(95)00060-P)
- [6] B. Ma, J. Wang y H. Tan, «Utilization of waste marble powder in cement-based materials by incorporating nano silica,» *Construction and Building Materials*, vol. 211, n° 139-149, June 2019.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.248>
- [7] T. Alomayri, «Performance evaluation of basalt fiber-reinforced geopolymer composites with various contents of nano CaCO₃,» *Ceramics International*, vol. 47, n° 21, November 2021.
<https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2021.07.169>
- [8] G. L. Golewski, «Green Concrete Based on Quaternary Binders with Significant Reduced of CO₂ Emissions,» *Energies*, Yuly 2021. <https://doi.org/10.3390/en14154558>
- [9] A. Ahmed Jhatial, W. Inn Goh, K. Hung Mo, S. Sohu y I. Ali Bhatti, «Green and Sustainable Concrete – The Potential Utilization of Rice Husk Ash and Egg Shells,» *Civil Engineering Journal*, vol. 5, n° 1, January 2019. <https://www.civilejournal.org/index.php/cej/article/view/1096>
- [10] A. Nana, N. Epey y K. C. Rodrique, «Mechanical strength and microstructure of metakaolin/volcanic ash-based geopolymer composites reinforced with reactive silica from rice husk ash (RHA),» *Materialia*, vol. 16, May 2021. <https://doi.org/10.1016/j.mtla.2021.101083>

- [11] A. Sadeghi Nik, A. Bahari y B. Amiri, «Nanostructural Properties of Cement – Matrix Composite,» *Journal of Basic and Applied*, vol. 11, November 2011.
https://www.researchgate.net/publication/310204026_Nanostructural_Properties_of_Cement-Matrix_Composite
- [12] A. Sojobi y K. Liew, «Multi-objective optimization of high performance bio-inspired prefabricated composites for sustainable and resilient construction,» *Composite Structures*, vol. 279, January 2022. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2021.114732>
- [13] B. Basaran, I. Kalkan y C. Axolu, «Effects of Waste Powder, Fine and Coarse Marble Aggregates on Concrete Compressive Strength,» *Sustainability*, November 2022.
<https://doi.org/10.3390/su142114388>
- [14] R. Alyousef, O. Benjeddou, C. Soussi y M. A. Khadimallah, «Effects of Incorporation of Marble Powder Obtained by Recycling Waste Sludge and Limestone Powder on Rheology, Compressive Strength, and Durability of Self-Compacting Concrete,» *Materials science and engineering*, April 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/4609353>
- [15] G. C. Ulubeyli y R. Artir, «Properties of Hardened Concrete Produced by Waste Marble Powder,» *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 195, July 2015.
<https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.06.294>
- [16] A. Neißer-Deiters, S. Scherb, N. Beuntner y K.-C. Thienel, «Influence of the calcination temperature on the properties of a mica mineral as a suitability study for the use as SCM,» *Applied Clay Science*, vol. 179, October 2019. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2019.105168>
- [17] A. Tironi, M. A. Trezza y A. N. Scian, «Kaolinitic calcined clays: Factors affecting its performance as pozzolans,» *Construction and Building Materials*, vol. 28, March 2012.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.08.064>
- [18] D. M. Gil y G. L. Golewski, «Potential of siliceous fly ash and silica fume as a substitute for binder in cementitious concretes,» *E3S Web of Conferences*, vol. 49, August 2018.
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/20184900030>
- [19] T. F. Awolusi, A. O. Sojobi y D. O. Oguntayo, «Effects of calcined clay, sawdust ash and chemical admixtures on Strength and Properties of concrete for pavement and flooring applications using Taguchi approach,» *Case Studies in Construction Materials*, vol. 15, December 2021. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00568>
- [20] K. Scrivener, F. Martirena, S. Bishnoi y S. Maity, «Cementos calcáreos arcillosos calcinados (LC3),» *Cement and Concrete Research*, vol. 114, pp. 49-56, December 2018.
<https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2017.08.017>

- [21] MVCS, «Evolución Mensual del Precio Promedio de Materiales de Construcción, 2017 - 2025. Lima- Peru. Grupo aglomerantes,» de *Ministerio de vivienda, construccion y vivienda*, 2025. <https://ww3.vivienda.gob.pe/destacados/construccion.aspx>
- [22] R. Fernandez, F. Martirena y K. L. Scrivener, «The origin of the pozzolanic activity of calcined clay minerals: A comparison between kaolinite, illite and montmorillonite,» *Cement and Concrete Research*, vol. 41, January 2011. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2010.09.013>
- [23] S. Zhang, K. Cao, C. Wang y X. Wang, «Effect of silica fume and waste marble powder on the mechanical and durability properties of cellular concrete,» *Construction and Building Materials*, vol. 241, April 2020. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117980>
- [24] N. Bheel, O. Benjeddou, H. R. Almujiab, A. Abbasi, S. Sohu, M. Ahmad y M. M. Sabri, «Effect of calcined clay and marble dust powder as cementitious material on the mechanical properties and embodied carbon of high strength concrete by using RSM-based modelling,» vol. 9, n° 4, April 2023. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15029>
- [25] Z. A. Rid, S. N. R. Shah, M. J. Memon y A. A. Jhatial, «Evaluation of combined utilization of marble dust powder and fly ash on the properties and sustainability of high-strength concrete,» *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 29, January 2022. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-021-18379-1>
- [26] P. Raghunath, K. Suguna, J. Karthick y B. Sarathkumar, «Mechanical and durability characteristics of marble-powder-based high-strength concrete,» *Scientia Iranica*, vol. 26, n° 6, December 2019. https://scientiairanica.sharif.edu/article_21138.html
- [27] NTP.334.009, «Cemento portland requisitos,» de *Norma Tecnica Peruana (NTP)*, 2014.
- [28] ASTM.C-188, «Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement,» de *ASTM International. West Conshohocken-PA*, 2003.
- [29] NTP.400.010, «AGREGADOS. Extraccion y preparacion de las muestras,» de *Norma Tecnica Peruana (NTP)*, 2016.
- [30] NTP.400.037, «AGREGADOS. Especificaciones normalizadas para agregados en concreto,» de *Norma Tecnica Peruana (NTP)*, 2014.
- [31] ASTM.C-33, «Especificación estándar para agregados para concreto,» de *American Society for Testing and Materials. ASTM International. West Conshohocken-PA*, 2006.
- [32] ASTM.E-11, «Especificacion Estandar para tela de tamiz de prueba de alambre tejido y tamices de prueba,» de *ASTM International. West Conshohocken-PA*, 2020.
- [33] R. Hernandez Sampiari, C. Fernandez Collado y P. Baptista Lucio, «Metodologia de la Investigacion,» 4ta ed., Mexico, McGraw-Hill Interamericana, 2006, pp. 465-470.

- [34] ACI.211-4, «Guide to selecting proportions for high-strength concrete with Portland cement and other cementitious materials,» de *American Concrete Institute (ACI)*, 2008.
- [35] ASTM.C-31/C-31M, «Práctica Normalizada para la preparación y curado en obra de las probetas para ensayo del hormigón,» de *ASTM International. West Conshohocken-PA*, 2006.
- [36] ASTM.C-192/C-192M, «Practica estandar para hacer y curar especimenes de prueba de concreto en el Laboratorio,» de *ASTM International. West Conshohocken-PA*, 2016.
- [37] ASTM.C-496, «Método de prueba estándar para determinar la resistencia a la tracción por hendidura de muestras cilíndricas de hormigón,» de *ASTM International. West Conshohocken-PA*, 2016.
- [38] ASTM.C-78, «Método de Ensayo Estándar para Resistencia a la Flexión del Concreto (Usando Viga Simple con Carga a los Tercios del Claro,» de *ASTM International. West Conshohocken-PA*, 2016.
- [39] ASTM.C-143, «Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete,» de *ASTM International. West Conshohocken-PA*, 2016.
- [40] A. Rana, P. Kalla y L. J. Csetenyi, «Sustainable use of marble slurry in concrete,» *Journal of Cleaner Production*, vol. 94, May 2015. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.01.053>

ANEXOS

Anexo 1. Evidencia de sumisión del artículo a una revista indexada.

1/5/25, 3:46 p.m.

Gmail - [IC] Envío recibido de Ref. 7254



David Hacho Chipa <david.hc2015upeu@gmail.com>

[IC] Envío recibido de Ref. 7254

Juan Queipo de Llano Moya via Informes de la Construcción

1 de mayo de 2025,

<administrador.revistas@csic.es>

2:12 p.m.

Responder a: Juan Queipo de Llano Moya <direccion.informes@ietcc.csic.es>

Para: David hacho chipa <david.hc2015upeu@gmail.com>

Estimado David hacho chipa,

Gracias por enviarnos su manuscrito "Desempeño de un concreto de alta resistencia incorporando arcilla bentonita y polvo de mármol" a Informes de la Construcción, que ha recibido el número de referencia 7254.

Previo a su evaluación por revisores externos, es el Consejo de Redacción quien decide sobre la adecuación del mismo a la línea editorial y las normas de la Revista. Gracias al sistema de gestión de revistas online que usamos podrá seguir su progreso a través del proceso editorial identificándose en el sitio web de la revista:

URL del manuscrito: <https://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/authorDashboard/submission/7254>

Nombre de usuario: davidhacho

En cualquier caso la decisión se le comunicará lo antes posible.

Si tiene cualquier pregunta no dude en contactar con nosotros, haciendo mención al número de referencia asignado.

Agradeciéndole el envío de dicho artículo a nuestra redacción, reciba un cordial saludo.

Secretaría, Control y Gestión de Artículos
Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja
Serrano Galvache, 4. 28033 Madrid
Tel.: 91 302 04 40 (Ext 870276)
<http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/>

Informes de la Construcción

<https://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es>

Anexo 2. Resolución de aprobación del perfil del proyecto.



“AÑO DE LA UNIDAD, LA PAZ Y EL DESARROLLO”

RESOLUCIÓN N° 0520-2023/UPeU-FIA-CF-T

Lima, Ñaña 12 de setiembre de 2023

VISTO:

El expediente de David Hacho Chipa, identificado(a) con Código Universitario N° 201521912 y Yeni Machaca Machaca, identificado(a) con Código Universitario N° 201521917, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión;

CONSIDERANDO

Que la Universidad Peruana Unión tiene autonomía académica, administrativa y normativa, dentro del ámbito establecido por la Ley Universitaria N° 30220 y el Estatuto de la Universidad;

Que la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, mediante sus reglamentos académicos y administrativos, ha establecido las formas y procedimientos para la aprobación e inscripción del perfil de proyecto de tesis en formato artículo y la designación o nombramiento del asesor para la obtención del título profesional;

Que David Hacho Chipa y Yeni Machaca Machaca, han solicitado: la inscripción del perfil de proyecto de tesis titulado "Desempeño de un concreto de alta resistencia incorporando arcilla medicinal calcinada y polvo de mármol" y la designación del Asesor, encargado de orientar y asesorar la ejecución del perfil de proyecto de tesis en formato artículo;

Estando a lo acordado en la sesión del Consejo de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, celebrada el 12 de setiembre de 2023, y en aplicación del Estatuto y el Reglamento General de Investigación de la Universidad;

SE RESUELVE:

Aprobar el perfil de proyecto de tesis en formato artículo titulado "Desempeño de un concreto de alta resistencia incorporando arcilla medicinal calcinada y polvo de mármol" y disponer su inscripción en el registro correspondiente, designar a Mg. Lily Zea Gonzales como ASESOR para que oriente y asesore la ejecución del perfil de proyecto de tesis en formato artículo el cual fue dictaminado por: Mtro. Leonel Chahuares Paucar y Mg. Gerardo William Pari Quispe, otorgándoles un plazo máximo de doce (12) meses para la ejecución.

Regístrese, comuníquese y archívese.



Erika Inés Acuña Salinas

Dra. Erika Inés Acuña Salinas
DECANA



Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga

Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga
SECRETARIA ACADÉMICA (e)

cc:

- Interesado
- Asesor
- Dirección General de Investigación
- Archivo

Anexo 3. Resolución de dictaminación.



“AÑO DEL BICENTENARIO, DE LA CONSOLIDACIÓN DE NUESTRA INDEPENDENCIA, Y DE LA CONMEMORACIÓN DE LAS HEROICAS BATALLAS DE JUNÍN Y AYACUCHO”

RESOLUCIÓN N° 0855-2024/UPeU-FIA-CF-T

Lima, Ñaña 05 de noviembre de 2024

VISTO:

El expediente de **David Hacho Chipa**, identificado(a) con código universitario N° 201521912 y **Yeni Machaca Machaca**, identificado(a) con código universitario N° 201521917, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión;

CONSIDERANDO:

Que la Universidad Peruana Unión tiene autonomía académica, administrativa y normativa, dentro del ámbito establecido por la Ley Universitaria N° 30220 y el Estatuto de la Universidad;

Que la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, mediante sus reglamentos académicos y administrativos, ha establecido las formas y procedimientos para la designación del Comité Dictaminador del proyecto de tesis;

Que **David Hacho Chipa** y **Yeni Machaca Machaca**, han concluido el desarrollo de la tesis en formato artículo y con la opinión favorable de su asesor, solicitan la designación del Comité Dictaminador respectivo;

Estando a lo acordado en la sesión del Consejo de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, celebrada el 05 de noviembre de 2024, y en aplicación del Estatuto y el Reglamento General de Investigación de la Universidad;

SE RESUELVE:

Designar el Comité Dictaminador encargado de administrar el proceso de dictamen correspondiente a la tesis en formato artículo, titulada “Desempeño de un concreto de alta resistencia incorporando arcilla bentonita y polvo de mármol”, presentado por **David Hacho Chipa** y **Yeni Machaca Machaca**, otorgándoles un plazo máximo de diez (10) hábiles, posterior a la fecha de recepción de la presente resolución, para emitir el dictamen respectivo a través de la plataforma oficial.

Dictaminador 1: Mtro. Leonel Chahuares Paucar

Dictaminador 2: Mg. Edwin Parillo Escarsena

Regístrese, comuníquese y archívese.



Dra. Erika Inés Acuña Salinas
DECANA

cc:
-Interesado
-Jurado (02)
-Archivo



Ph.D. Silvia Pilco Quesada
SECRETARIA ACADÉMICA

Anexo 4. Resolución de sustentación de Tesis.



“AÑO DE LA RECUPERACIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE LA ECONOMÍA PERUANA”

RESOLUCIÓN N° 0228-2025/UPeU-FIA-CF

Lima, Ñaña, 13 de mayo de 2025

VISTO:

El expediente de los (las) bachilleres **David Hacho Chipa** identificado(a) con código universitario N° 201521912 y **Yeni Machaca Machaca** identificado(a) con código universitario N° 201521917, de la Escuela Profesional de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión;

CONSIDERANDO:

Que la Universidad Peruana Unión tiene autonomía académica, administrativa y normativa, dentro del ámbito establecido por la Ley Universitaria N° 30220 y el Estatuto de la Universidad;

Que la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, mediante sus reglamentos académicos y administrativos, ha establecido las formas y procedimientos para la sustentación de la tesis en formato artículo;

Que el Comité Dictaminador ha emitido su dictamen aprobando el informe de tesis titulado "Desempeño de un concreto de alta resistencia incorporando arcilla bentonita y polvo de mármol", presentado por los (las) bachilleres **David Hacho Chipa** y **Yeni Machaca Machaca**, reuniendo de esta manera las condiciones previas para la declaratoria de expedito para la programación de la sustentación;

Estando a lo acordado en la sesión del Consejo de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, celebrada el 13 de mayo de 2025, y en aplicación del Estatuto y el Reglamento General de investigación de la Universidad;

SE RESUELVE:

1. Declarar expedito a los (las) bachilleres **David Hacho Chipa** y **Yeni Machaca Machaca**, para que sustenten la tesis en formato artículo titulada "Desempeño de un concreto de alta resistencia incorporando arcilla bentonita y polvo de mármol", conducente a la obtención del título profesional de Ingeniero Civil, el 02 de junio a las 15:00 horas, en la modalidad presencial, en el Auditorio Pedro Kalbermatter.
2. Designar el Jurado de Sustentación, encargado de gestionar la sustentación respectiva, el mismo que queda constituido por los siguientes miembros:

Presidente: Mg. Herson Duberly Pari Cusi
 Secretario: Mtro. Leonel Chahuares Paucar
 Asesor: Mg. Lily Zea Gonzales
 Vocal 1: Mg. Edwin Parillo Escarsena

Regístrese, comuníquese y archívese.



Erika Inés Acuña Salinas
Dra. Erika Inés Acuña Salinas
DECANA

cc:
 - Internado
 - Jurado (04)
 - Secretaría General
 - Archivo



Ph.D. Silvia Pilco Quesada
Ph.D. Silvia Pilco Quesada
SECRETARIA ACADÉMICA

Villa Unión - Ñaña, altura Km 19 de la Carretera Central, Lurigancho - Chosica, Lima 15 - Perú
 Teléfono: (01) 6186300 Web: www.upu.edu.pe

Anexo 5. Análisis de costos de concreto convencional y concreto modificado

Tabla 14

Análisis de costos de concreto convencional

"Desempeño de un concreto de alta resistencia incorporando arcilla bentonita y polvo de mármol"						
Partida:	Rendimiento	10 m3/día	Jornada	8 h/día	Costo unitario por m ³ S/.	488.28
Descripción de recursos	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio unitario S/.	Precio Parcial S/.	
Mano de Obra						80.72
OPERARIO	hh	1	0.8	22.97	18.38	
OFICIAL	hh	1	0.8	16.97	13.58	
PEON	hh	4	3.2	15.24	48.77	
Materiales						393.34
CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 KG)	bls		10.59	28	296.52	
ARENA GRUESA	m3		0.70	95	66.50	
PIEDRA CHANCADA DE 3/4"	m3		0.29	85	24.65	
AGUA	m3		0.24	2.36	0.57	
GASOLINA 90 OCTANOS	gln		0.3	17	5.10	
POLVO DE MARMOL	kg				0.00	
ARCILLA BENTONITA	kg				0.00	
Maquinaria, equipos y herramientas						14.22
HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3	80.72	2.42	
MEZCLADORA DE CONCRETO	hm	1	0.8	12	9.60	
VIBRADOR DE CONCRETO	hm	0.5	0.4	5.5	2.20	

Tabla 15

Análisis de costos de concreto modificado incorporando 2.5% polvo de mármol y 2.5% arcilla bentonita

" Desempeño de un concreto de alta resistencia incorporando arcilla bentonita y polvo de mármol"						
Partida:	Rendimiento	10 m3/día	Jornada	8 h/día	Costo unitario por m ³ S/.	482.19
Descripción de recursos	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio unitario S/.	Precio Parcial S/.	
Mano de Obra						80.72
Operario	hh	1	0.8	22.97	18.38	
Oficial	hh	1	0.8	16.97	13.58	
Peón	hh	4	3.2	15.24	48.77	
Materiales						387.25
CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 KG)	bls		10.09	28	282.52	
ARENA GRUESA	m3		0.70	95	66.50	
PIEDRA CHANCADA DE 3/4"	m3		0.29	85	24.65	
AGUA	m3		0.24	2.36	0.57	
GASOLINA 90 OCTANOS	gln		0.3	17	5.10	
POLVO DE MARMOL	kg		11.3	0.5	5.65	
ARCILLA BENTONITA	kg		11.3	0.2	2.26	
Maquinaria, equipos y herramientas						14.22
HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3	80.72	2.42	
MEZCLADORA DE CONCRETO	hm	1	0.8	12	9.60	
VIBRADOR DE CONCRETO	hm	0.5	0.4	5.5	2.20	

Tabla 16
Análisis de costos de concreto modificado incorporando 5% polvo de mármol y 5% arcilla bentonita

Partida: " Desempeño de un concreto de alta resistencia incorporando arcilla bentonita y polvo de mármol" "						
	Rendimiento	10 m3/día	Jornada	8 h/día	Costo unitario por m ³ S/.	474.63
Descripción de recursos	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio unitario S/.	Precio Parcial S/.	
Mano de Obra						80.72
Operario	hh	1	0.8	22.97	18.38	
Oficial	hh	1	0.8	16.97	13.58	
Peón	hh	4	3.2	15.24	48.77	
Materiales						379.69
CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 KG)	bls		9.54	28	267.12	
ARENA GRUESA	m3		0.70	95	66.50	
PIEDRA CHANCADA DE 3/4"	m3		0.29	85	24.65	
AGUA	m3		0.24	2.36	0.57	
GASOLINA 90 OCTANOS	gln		0.3	17	5.10	
POLVO DE MARMOL	kg		22.5	0.5	11.25	
ARCILLA BENTONITA	kg		22.5	0.2	4.50	
Maquinaria, equipos y herramientas						14.22
HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3	80.72	2.42	
MEZCLADORA DE CONCRETO	hm	1	0.8	12	9.60	
VIBRADOR DE CONCRETO	hm	0.5	0.4	5.5	2.20	

Tabla 17
Análisis de costos de concreto modificado incorporando 7.5% polvo de mármol y 7.5% arcilla bentonita

Partida: " Desempeño de un concreto de alta resistencia incorporando arcilla bentonita y polvo de mármol" "						
	Rendimiento	10 m3/día	Jornada	8 h/día	Costo unitario por m ³ S/.	472.25
Descripción de recursos	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio unitario S/.	Precio Parcial S/.	
Mano de Obra						80.72
Operario	hh	1	0.8	22.97	18.38	
Oficial	hh	1	0.8	16.97	13.58	
Peón	hh	4	3.2	15.24	48.77	
Materiales						377.31
CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 KG)	bls		9.00	28	252.00	
ARENA GRUESA	m3		0.70	95	66.50	
PIEDRA CHANCADA DE 3/4"	m3		0.29	85	24.65	
AGUA	m3		0.24	2.36	0.57	
GASOLINA 90 OCTANOS	gln		0.3	17	5.10	
POLVO DE MARMOL	kg		40.7	0.5	20.35	
ARCILLA BENTONITA	kg		40.7	0.2	8.14	
Maquinaria, equipos y herramientas						14.22
HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3	80.72	2.42	
MEZCLADORA DE CONCRETO	hm	1	0.8	12	9.60	
VIBRADOR DE CONCRETO	hm	0.5	0.4	5.5	2.20	

Tabla 18
Análisis de costos de concreto modificado incorporando 10% polvo de mármol y 10% arcilla bentonita

Partida: " Desempeño de un concreto de alta resistencia incorporando arcilla bentonita y polvo de mármol" "						
	Rendimiento	10 m3/día	Jornada	8 h/día	Costo unitario por m ³ S/.	467.49
Descripción de recursos	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio unitario S/.	Precio Parcial S/.	
Mano de Obra						80.72
Operario	hh	1	0.8	22.97	18.38	
Oficial	hh	1	0.8	16.97	13.58	
Peón	hh	4	3.2	15.24	48.77	
Materiales						372.55
CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 KG)	bls		8.49	28	237.72	
ARENA GRUESA	m3		0.70	95	66.50	
PIEDRA CHANCADA DE 3/4"	m3		0.29	85	24.65	
AGUA	m3		0.24	2.36	0.57	
GASOLINA 90 OCTANOS	gln		0.3	17	5.10	
POLVO DE MARMOL	kg		54.3	0.5	27.15	
ARCILLA BENTONITA	kg		54.3	0.2	10.86	
Maquinaria, equipos y herramientas						14.22
HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3	80.72	2.42	
MEZCLADORA DE CONCRETO	hm	1	0.8	12	9.60	
VIBRADOR DE CONCRETO	hm	0.5	0.4	5.5	2.20	

Anexo 6. Reducción de Dióxido de carbono por bolsa de cemento

Tabla 19
Análisis de reducción de CO2 por bolsa de cemento Yura

Descripción de material	Cantidad (kg)	CO2 e/bolsa (kg)
CEMENTO PORTLAND	42.5	37.00
COMB. 5%	2.13	34.88
COMB. 10%	4.25	32.75
COMB. 15%	6.38	30.62
COMB. 20%	8.50	28.5

Anexo 7. Ficha técnica de cemento Yura del contenido de dióxido de carbono (CO₂)

Cemento Portland	Cemento tipo HE	Cemento tipo 1P
No existe esta presentación	No existe esta presentación	 25 kg 511 kg CO ₂ e/t 12 kg CO ₂ e/bolsa de 25kg
 42.5 kg 865 kg CO ₂ e/t 37 kg CO ₂ e/bolsa de 42.5 kg	 42.5 kg 674 kg CO ₂ e/t 29 kg CO ₂ e/bolsa de 42.5 kg	 42.5 kg 490 kg CO ₂ e/t 21 kg CO ₂ e/bolsa de 42.5 kg
 1 TM 870 kg CO ₂ e/t 870 kg CO ₂ e/big bag de 1 t	 1 TM 679 kg CO ₂ e/t 679 kg CO ₂ e/big bag de 1 t	 1 TM 495 kg CO ₂ e/t 679 kg CO ₂ e/big bag de 1 t