



**Ciencia Latina**  
Internacional

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.  
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), marzo-abril 2024,  
Volumen 8, Número 2.

[https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v8i2](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i2)

**TIEMPO DE FRAGUADO Y CONSISTENCIA  
NORMAL DEL CEMENTO PORTLAND IP-30  
CON AGREGADOS DE ESFERAS DE  
POLIESTIRENO**

**SETTING TIME AND NORMAL CONSISTENCY  
OF PORTLAND CEMENT IP-30 WITH POLYSTYRENE  
SPHERE AGGREGATES**

**Fernando Rocha Argote**

Docente de la Facultad de tecnología de la Universidad del Valle Univalle , Bolivia

DOI: [https://doi.org/10.37811/cl\\_rem.v8i2.11120](https://doi.org/10.37811/cl_rem.v8i2.11120)

## Tiempo de Fraguado y Consistencia Normal del Cemento Portland IP-30 con Agregados de Esferas de Poliestireno

**Fernando Rocha Argote<sup>1</sup>**[fernando.rocha.argote@gmail.com](mailto:fernando.rocha.argote@gmail.com)<https://orcid.org/0009-0000-7728-0432>Docente de la Facultad de tecnología de la  
Universidad del Valle UNIVALLE  
Bolivia

### RESUMEN

El objetivo de este estudio es evaluar el efecto de las esferas de poliestireno expandido a distintas fracciones de volumen sobre las características físicas del cemento Portland utilizando una distribución cubica simple. Las variables estudiadas fueron: consistencia normal y tiempo de fraguado. Estas características son medidas con la técnica de la aguja de Vicat mediante el uso de las normas vigentes de los materiales de construcción Norma Boliviana NB-11, ACI y ASTM. El empleo de aditivos en cementos mejora la trabajabilidad y la porosidad, permitiendo fabricar morteros y hormigones con alto rendimiento y con propiedades mecánicas adecuadas para su empleo como morteros de albañilería, revoque, enlucido y grandes estructuras. En la actualidad existen un sinnúmero de aditivos que mejoran las características del cemento y por ende las características del concreto y morteros, ya sea mejorando la resistencia, la durabilidad y la trabajabilidad, sin embargo, los usos de estos aditivos en cementos suelen provocar elevados costos de producción y operación por lo que incorporar materiales residuales como poliestireno y aplicar un modelo físico conforme a la problemática es de gran utilidad.

**Palabras clave:** *cemento portland, poliestireno, consistencia normal, tiempo de fraguado*

---

<sup>1</sup> Autor principal

Correspondencia: [fernando.rocha.argote@gmail.com](mailto:fernando.rocha.argote@gmail.com)

# Setting Time and Normal Consistency of Portland Cement IP-30 with Polystyrene Sphere Aggregates

## ABSTRACT

The objective of this study is to evaluate the effect of expanded polystyrene spheres at different volume fractions on the physical characteristics of Portland cement using a simple cubic distribution. The variables studied were: normal consistency and setting time. These characteristics are measured with the Vicat needle technique through the use of current standards for construction materials, Bolivian Standard NB-11, ACI and ASTM. The use of additives in cements improves workability and porosity, allowing the manufacture of mortars and concretes with high performance and with mechanical properties suitable for use as masonry mortars, plastering, plastering and large structures. Currently there are countless additives that improve the characteristics of cement and therefore the characteristics of concrete and mortars, either by improving resistance, durability and workability, however, the uses of these additives in cements usually cause high costs of production and operation, so incorporating residual materials such as polystyrene and applying a physical model according to the problem is very useful.

**Keywords:** *portland cement, polystyrene, normal consistency, setting time*

*Artículo recibido 23 marzo 2024  
Aceptado para publicación: 25 abril 2024*



## INTRODUCCIÓN

Actualmente existe una imperiosa necesidad de reducir el consumo de materias primas y energía, así como la disminución de los residuos. Esto se puede lograr integrando los residuos en procesos productivos, así como su incorporación a materiales de construcción. (Gatani, M. Argüello R. Sesín S. 2010) Estos nuevos materiales de construcción son ecológicamente más eficientes permitiendo un ahorro de materias primas y de consumo energético. Distintos residuos agroindustriales y poliméricos están siendo estudiados. (Del Rey R. Alba J. Ramis, J. Sanchís V. J. 2011)

El poliestireno expandido representa el 0,1% del total de los residuos sólidos urbanos. Varias organizaciones de más de treinta países, han suscrito un acuerdo internacional sobre el reciclado comprometiéndose a promover el uso del poliestireno reciclado en la más amplia gama de aplicaciones posibles. (Martínez C. Laines J. 2013)

El poliestireno es un polímero termoplástico espumado con estructura celular cerrada. Es biológicamente inerte y no tóxico que posee interesantes propiedades tales como su baja densidad, aislamiento térmico, comportamiento hidrofóbico, y resistencia química a ácidos y álcalis (Short, A. Kinniburgh W. 1978). El poliestireno se puede encontrar en perlas, que se pueden considerar como un tipo de árido artificial de naturaleza polimérica, no absorbente y ultraligero (densidad menor de 300 kg/m<sup>3</sup>) (Sussman, V. 1975). Estos áridos permiten la fabricación de materiales de construcción ligeros como concretos y morteros, teniendo como base el cemento.

La literatura en el campo de concretos y morteros con incorporación de esferas de poliestireno está principalmente dedicada al estudio de estos materiales en su estado endurecido como la caracterización de las propiedades mecánicas y térmicas (Ganesh Babu, K. Saradhi Babu D. 2003), dejando de lado las propiedades en su estado fresco como el tiempo de fraguado y consistencia normal (Tang W. C. Lo Y. Nadeem A. 2008). Cuando se trata de estudiar las propiedades de concretos y morteros en su estado fresco hacemos referencia a las propiedades ya mencionadas tomando como énfasis el cemento que es la base en la elaboración de estos materiales de construcción, en este caso se estudia la pasta de cemento según la incorporación de agua. (Jiménez M. 2009)

La cantidad de agua necesaria para que la pasta de cemento alcance una fluidez óptima se lo denomina consistencia normal (Acuña E., Abdon A. 2022). Una vez alcanzado el nivel óptimo de fluidez la pasta de cemento pasa por un proceso de endurecimiento a través del tiempo. El tiempo transcurrido desde el momento que se agrega el agua a la pasta hasta que pierde viscosidad, se denomina tiempo de fraguado inicial que indica que la pasta está semidura y parcialmente hidratada. Posteriormente la pasta sigue endureciendo hasta que deja de ser deformable, volviéndose rígida y resistente; el tiempo descrito hasta este punto se denomina tiempo de fraguado final, e indica que el cemento se encuentra aún más hidratado. A partir de este momento empieza el proceso de endurecimiento y la pasta ya fraguada va adquiriendo resistencia. (Abanto Castillo F. 2009.)

La determinación de los tiempos de fraguado da una idea del tiempo disponible para mezclar, transportar, colocar, vibrar y apisonar los concretos y morteros de una obra, así como el tiempo necesario para empezar el curado.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales empleados son:

- Cemento Warnes IP-30 con resistencia mínima de 30 MPa a 28 días. (SOBOCE)
- Poliestireno extruido en forma de perlas con 2 mm de diámetro.

La medida de los tiempos de fraguado y consistencia normal se obtiene siguiendo los métodos de la norma ASTM C 187-98, AASHTO T-129, ASTM C-191, además se emplea los criterios de la norma boliviana NB-011 mediante al aparato de Vicat (figura 1).

**Figura 1.** Aparato de Vicat.



La incorporación de las esferas de poliestireno será distribuida de forma cubica simple siguiendo el modelo de Maxwell-Raileygh. Dicho modelo fue estudiado para obtener las propiedades térmicas de materiales compuestos a base de cemento, cuyos resultados fueron satisfactorios (Rocha F. 2017). El modelo de Maxwell-Raileygh para medios heterogéneos debe respetar el espacio mínimo de las esferas inmersas en un medio continuo, que debe ser superior al diámetro de las mismas, con base a la suposición de independencia de cada esfera (James Clerk Maxwel, M.A. 1873). Con base a la definición de dicho modelo respetando la independencia de cada esfera se obtendrá un material heterogéneo compuesto de una fase continua que corresponde a la pasta de cemento y a otra fase discontinua que será las esferas de poliestireno.

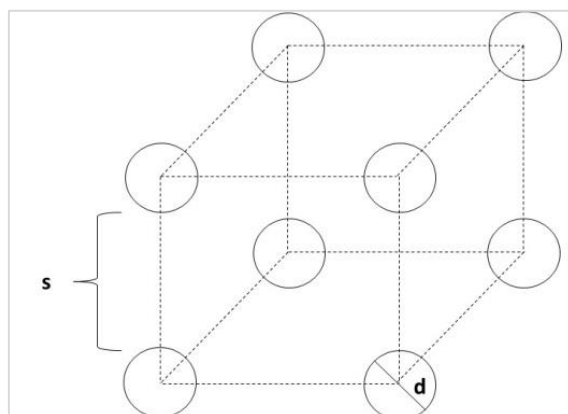
### Procedimiento Experimental.

Se realizan dos tipos de muestras; la primera corresponde a una pasta de cemento sin incorporación de esferas de poliestireno, la cual será la pasta estándar con fracción de volumen cero, luego se elabora muestras con base al modelo de Maxwell-Raileygh. Para aplicar dicho modelo se desarrolla una ecuación matemática (Figura 2) para determinar la separación de esferas de acuerdo a las fracciones de volumen dentro de un material homogéneo, que en nuestro caso es el cemento.

$$\delta V = \frac{\frac{\pi}{6}}{(1 + \frac{s}{d})^3} \quad (1)$$

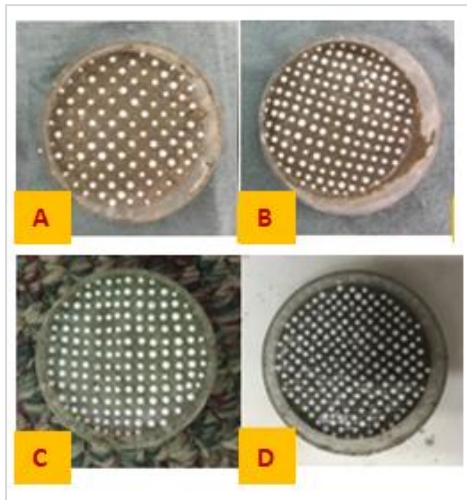
Donde  $\delta V$  es la fracción de volumen,  $s$  es la separación de esferas y  $d$  el diámetro de las esferas.

**Figura 2.** Distribución cubica simple de las esferas de poliestireno.



El modelo de Maxwell Rayleigh deja de ser válido para fracciones de volumen mayores a 0.2 (Rocha F. 2017) por tal motivo, las muestras para el análisis de consistencia normal y tiempo de fraguado tendrán como límite las fracciones de esferas de poliestireno igual a 0.2, realizando ensayos para fracciones de volumen igual a 0.05, 0.1, 0.15 y 0.2. (figura 3).

**Figura 3**



Muestras de pastas de cemento con diferentes incorporaciones de esferas de poliestireno. A) Fracción de volumen de 0.05, B) Fracción de volumen 0.1, C) Fracción 0.15 y D) Fracción de volumen 0.2.

## RESULTADO Y DISCUSIÓN.

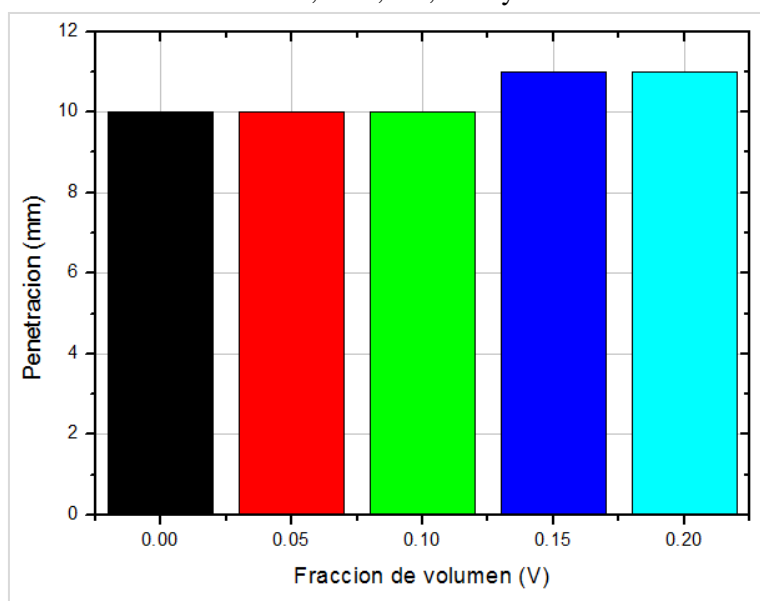
### Consistencia normal

La fluidez óptima de la pasta de cemento se obtiene con una cantidad de agua de 160 ml alcanzando una consistencia del 32%, variando la penetración de la sonda de Vicat para diferentes fracciones de volumen (tabla 1 y figura 3)

**Tabla 1.** Resultado de la penetración de la sonda de Vicat. La norma establece una penetración de  $10 \pm 1$  mm.

Identificador	Fracción de volumen	Consistencia Normal (%)	Penetración (mm)
	0	32	10
	0.05	32	10
	0.1	32	10
	0.15	32	11
	0.2	32	11

**Figura 3.** Diagrama de penetración de la sonda de Vicat para la consistencia normal del cemento en fracciones de volumen de 0, 0.05, 0.1, 0.15 y 0.2



### Tiempo de Fraguado

Se obtiene a partir de la consistencia normal. Se analizó diferentes pastas de cemento con incorporación de esferas de poliestireno de 0, 0.05, 0.1, 0.15 y 0.2. Los resultados de tiempo de fraguado son los siguientes:

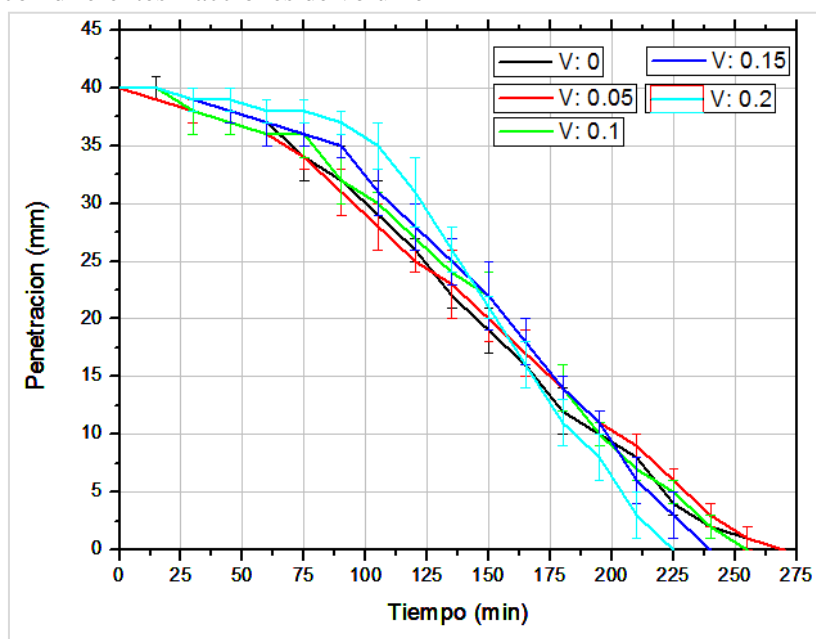
**Tabla 2.** Resultado de tiempo de fraguado para diferentes fracciones de volumen.

Tiempo (min.)	Penetración para cada fracción de volumen (mm)				
	0	0.05	0.1	0.15	0.2
0	40	40	40	40	40
15	39 ± 1	40	40	40	40
30	38 ± 1	39 ± 1	38 ± 2	39 ± 1	39 ± 1
45	37 ± 2	38 ± 1	37 ± 1	38 ± 1	39 ± 1
60	36 ± 2	37 ± 1	36 ± 1	37 ± 2	38 ± 1
75	34 ± 2	34 ± 1	36 ± 2	36 ± 1	38 ± 1
90	31 ± 3	32 ± 2	32 ± 2	35 ± 1	37 ± 1
105	28 ± 3	29 ± 2	30 ± 1	31 ± 2	35 ± 2
120	25 ± 1	26 ± 1	27 ± 1	28 ± 2	31 ± 3
135	23 ± 1	22 ± 3	24 ± 1	25 ± 2	26 ± 2
150	20 ± 2	19 ± 2	22 ± 2	22 ± 3	21 ± 1
165	17 ± 2	16 ± 2	18 ± 2	18 ± 2	16 ± 2
180	14 ± 2	12 ± 1	14 ± 2	14 ± 1	11 ± 2



195	11 ± 1	10 ± 1	10 ± 1	11 ± 1	8 ± 2
210	9 ± 2	8 ± 1	7 ± 1	6 ± 2	3 ± 2
225	6 ± 1	4 ± 1	5 ± 1	3 ± 2	0
240	3 ± 1	2 ± 1	2 ± 1	0	
255	1 ± 1	1 ± 1	0		
270	0	0			

**Figura 4.** Comparación de las distintas penetraciones a través del tiempo para pastas de cemento con diferentes fracciones de volumen

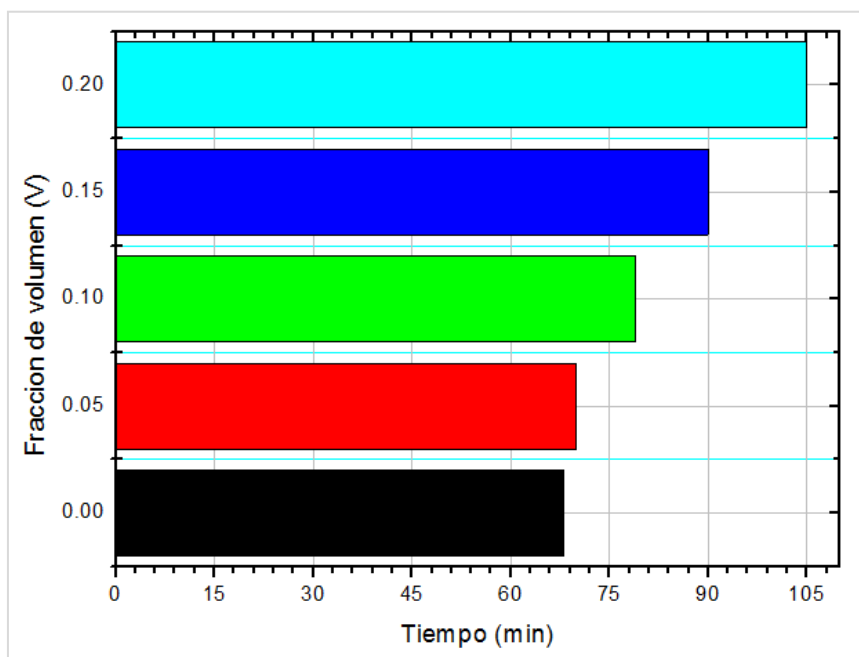


Según la norma, el fraguado final se da cuando la aguja de Vicat no penetra la pasta de cemento es decir la penetración es igual a 0, sin embargo, el fraguado inicial empieza cuando la penetración es 35 mm, en este caso resolviendo por interpolación el tiempo de inicio de fraguado para cada fracción de volumen son las siguientes (tabla 3, figura 5 y 6)

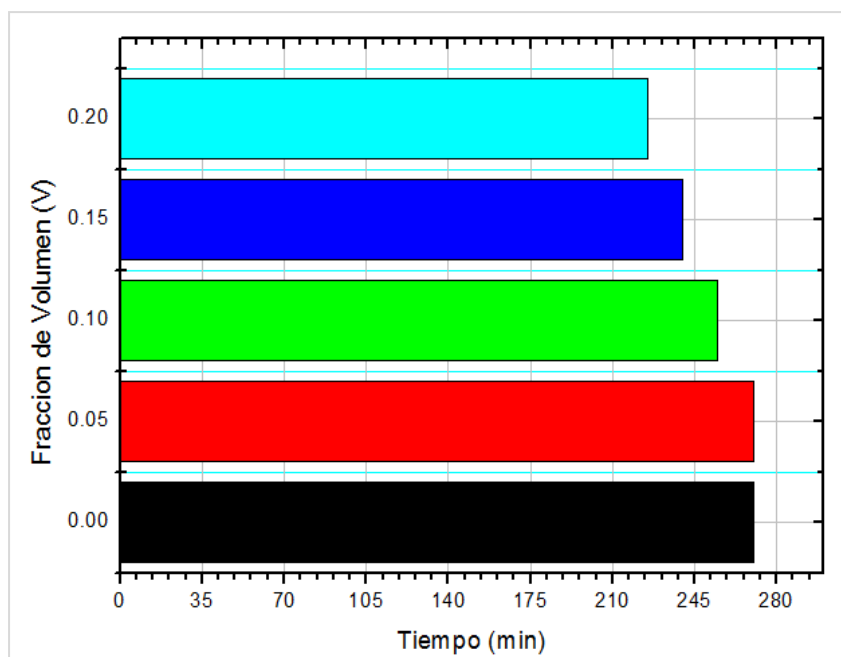
**Tabla 3.** Fraguado inicial y final de pastas de cemento con diferentes fracciones de volumen

Fracción de volumen	Inicio de fraguado (min)	Final de fraguado (min)
0	68	270
0.05	70	270
0.1	79	255
0.15	90	240
0.2	105	225

**Figura 5.** Comparación de los tiempos de fraguado inicial



**Figura 6.** Comparación de los tiempos de final de fraguado



Como se aprecia en las figuras 5 y 6 el tiempo de inicio de fraguado aumenta a medida que las fracciones de volumen incrementan y el tiempo de final de fraguado disminuye con el incremento de esferas de poliestireno. En comparación con la muestra estándar o fracción de volumen igual a cero existe una diferencia creciente en el fraguado inicial de 2 minutos para la muestra de 0.05 de

fracción de volumen, 11 minutos con la muestra de 0.1 fracción de volumen, 22 minutos con la muestra de 0.15 y 37 minutos con la muestra de 0.2 fracción de volumen. Para el final de fraguado comparando los resultados de diferentes fracciones de volumen con la muestra estándar o fracción de volumen igual a cero existe una diferencia decreciente de 15 minutos con la muestra de 0.1 fracción de volumen, 30 minutos con la muestra de 0.15 y 35 minutos con la muestra de 0.2 fracción de volumen mientras que la muestra de 0.05 fracción de volumen se mantiene igual que la muestra estándar o fracción de volumen cero, debido a que las esferas inmersas en la pasta de cemento para esta muestra son casi despreciables.

## **CONCLUSIONES**

Los resultados experimentales permiten extraer las siguientes conclusiones:

El aumento de la fracción de volumen de las esferas de poliestireno provoca que la pasta de cemento sea más trabajable.

El aumento de las esferas de poliestireno no afecta la consistencia normal del cemento, es decir a medida que aumenta la fracción de volumen de poliestireno, la cantidad de agua no varía. Esto se debe a la propiedad hidrofóbica del poliestireno. Si bien la cantidad de poliestireno vuelve más fluida la pasta de cemento, esto es compensado con el tiempo que existe en la colocación de las esferas por capas dentro del molde.

El inicio de fraguado varía con el aumento de fracciones de volumen de poliestireno ocasionando más tiempo de moldeo de la pasta de cemento.

El final de fraguado tiene efectos adversos al inicio de fraguado, es decir a medida que aumenta las fracciones de volumen, el tiempo de final de fraguado reduce hasta un tiempo de 35 minutos. Esto se lo puede atribuir a la exudación de la pasta de cemento. Siendo la pasta elaborada por capas produciendo exudación en dichas capas por lo que la pasta es más fluida en el inicio ocasionando una aceleración en la pérdida de agua a medida que se llega a la capa final.

Que una pasta de cemento tenga más tiempo de moldeo y menor tiempo de alcanzar su estado endurecido es de suma importancia, ya que acelera la producción y ofrece tiempo para lograr un acabado deseable.



La incorporación de esferas de poliestireno mejora las propiedades físicas en estado fresco de la pasta de cemento que a su vez tiene repercusiones en la elaboración de concretos y morteros volviéndolos más trabajables y de fácil moldeo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Abanto Castillo F. (2009). “Tecnología del Concreto”. (2da Ed.). Editorial San Marcos.

Acuña Espinoza, Abdon Ademar (2022). “Implementación de procedimientos para ensayos en cementos en el laboratorio de resistencia de materiales”. Universidad Mayor de San Simón UMSS. <http://hdl.handle.net/123456789/34949>

ASTM C187 (12 de julio de 2023). “Método de prueba estándar para la cantidad de agua necesaria para la consistencia normal de la pasta de cemento hidráulico”. “Vol. 04.01, código ICS. 91.100.10, DOI 10.1520/C0187-16”

ASTM C191 (5 de noviembre de 2021). “Métodos de prueba estándar para el tiempo de fraguado del cemento hidráulico mediante aguja Vicat”. “Vol. 04.01, código ICS. 91.100.10, DOI 10.1520/C0191-21”

Acosta Silva, S., & Paredes Cruz, I. (2022). Prevención y tratamiento de la litiasis renal: Medidas dietéticas y farmacológicas. *Revista Científica De Salud Y Desarrollo Humano*, 3(1), 148-170. <https://doi.org/10.61368/r.s.d.h.v3i1.50>

Cruz Rosas, J., & Oseda Gago, D. (2022). Design thinking en la creatividad de los estudiantes de administración de empresas, en una universidad de Trujillo - 2020. *Emergentes - Revista Científica*, 2(1), 57-70. <https://doi.org/10.37811/erc.v1i2.13>

Campos Aráuz , M., & Cordero Céspedes, A. (2022). Investigación de un sistema fotovoltaico y la factibilidad financiera de su implementación para la generación de demanda de energía eléctrica en las instalaciones de una empresa que se dedica a la venta de vehículos, Costa Rica, 2021. *Sapiencia Revista Científica Y Académica* , 2(1), 114-132. Recuperado a partir de <https://revistasapiencia.org/index.php/Sapiencia/article/view/34>

Del Rey R. Alba, J. Ramis, J. Sanchís V. J. (2011). “New absorbent acoustic materials from plastic bottle remnants” *Mater. Construcc.*, Vol. 61, nº 304, (2011), pp. 547-558, doi: 10.3989/mc.2011.59610.



- Ganesh Babu, K. Saradhi Babu D. (2003). "Behaviour of lightweight expanded polystyrene concrete containing silica fume", *Cem. Concr. Res.*, vol. 33 (2003), pp. 755-762. doi:10.1016/S0008-8846(02)01055-4.
- Gatani, M; Argüello R.; Sesín S. (2010). "Effect of chemical treatments on the mechanical properties of peanut shell and cement blends", *Mater. Construcc.*, Vol. 60, n° 298, (2010), pp. 137-147, doi: 10.3989/mc.2010.46908. [https://www.soboce.com/producto\\_viacha.asp](https://www.soboce.com/producto_viacha.asp)
- James Clerk Maxwell, M.A. (1873). *Conduction Through Heterogeneous Media, "A Treatise on Electricity and Magnetism"*. (pp. 361-366) . Londres, Inglaterra.
- Jiménez Montoya (2009). "Hormigón Armado". 15 a. Ed. Editorial Gustavo Gili, SL, Barcelona.
- Martínez Crystell, Laines José (2013). "Poliestireno expandido (EPS) y su problemática ambiental". Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Vol. 19 No. 36. <https://doi.org/10.19136/kuxulkab.a19n36.339>
- Martínez Pérez , J. C. (2023). Interpretación del Proceso de Atención de Enfermería entre los Estudiantes de Enfermería. *Estudios Y Perspectivas Revista Científica Y Académica* , 3(1), 1-18. <https://doi.org/10.61384/r.c.a.v3i1.14>
- Rocha Argote Fernando (2017). "Propiedades fototérmicas de materiales compuestos a base de cemento". México, Instituto Politécnico Nacional.
- Sussman, V. (1975). "Lightweight plastic-aggregate concrete", *Journal of American Concrete Institute*, vol. 72, pp. 321-323.
- Short, A. Kinniburgh W. (1978). "Lightweight Concrete", Applied Science Publishers, 3rd ed., London
- Tang W. C. Lo Y. Nadeem A. (2008). "Mechanical and drying shrinkage properties of structural-graded polystyrene aggregate concrete", *Cem. Concr. Comp.*, vol. 30 (2008), pp. 403-409. doi:10.1016/j.cemconcomp.2008.01.002.

