



UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



# REVISTA INDUSTRIAL 4.0

EDICIÓN DIGITAL Nro. 6  
ISSN-L 2958-0188  
MAYO 2023



Universidad Mayor de San Andrés  
Facultad de Ingeniería  
Carrera de Ingeniería Industrial

M.Sc. Oscar Arnaldo Heredia Vargas  
Dra. María Eugenia García Moreno  
Ing. Alejandro Martín Mayori Machicao  
Ing. Freddy Gutierrez Barea  
Ing. Franz José Zenteno Benítez

Rector  
Vicerrector  
Decano Facultad de Ingeniería  
ViceDecano Facultad de Ingeniería  
Director de Carrera Ingeniería Industrial

Revista Industrial 4.0  
Edición Impresa N°. 6 - Mayo 2023  
Impresa: ISSN 2958-017X  
En Línea: ISSN-L 2958-0188

Comite Editor:  
Ing. Mónica Lino Humerez  
Ing. Grover Sanchez Eid  
Ing. Mario Zenteno Benitez PhD

Diseño Versión Impresa & web:  
Ing. Enrique Orosco Crespo

Imagen Tapa:  
[webinars.sw.siemens.com/es-ES](http://webinars.sw.siemens.com/es-ES)

Imprenta:  
Walking Graf

Deposito Legal:  
4-3-68-20

Web:  
<https://industrial.umsa.bo/revistaindustrial-40>  
Email:  
[revistaindustrial4.0@umsa.bo](mailto:revistaindustrial4.0@umsa.bo)

Av. Mcal. Santa Cruz N° 1175, Plaza del Obelisco  
Mezzanine, Edificio Facultad de Ingeniería  
TEL. 2205000-2205067, Int. 1402  
Campus Universitario, Cota Cota - calle 30



## PRESENTACIÓN

La publicación impresa y digital del N° 6 de la Revista, coincide con el semestre donde la Carrera de Ingeniería Industrial conmemora los 84 años de su creación, durante todos estos años con la guía, experiencia, solvencia académica de destacados profesores ingenieros, se formaron generaciones de exitosos profesionales que aportaron con su liderazgo en la transformación industrial, generación de fuentes de trabajo y progreso del país.

Debemos hacer un reconocimiento especial a uno de los docentes que tuvo la carrera durante muchas décadas, el Ingeniero Industrial Narciso Cardozo Rodríguez, quién administró la cátedra de procesos industriales y fue transmitiendo toda su sapiencia sobre la metalurgia en Bolivia. El Ing. Cardozo desde la década de los cincuenta del siglo pasado trabajó incansablemente en investigación y en la elaboración e implementación de proyectos para la industrialización de las materias primas en el país.



**Ing. MBA. Franz José Zenteno Benítez**  
**DIRECTOR**  
**CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

Desde Ingeniería Industrial de la Universidad Mayor de San Andrés, a través de sus tres institutos de investigación, sus unidades de posgrado y el pre grado en La Paz y sus programas desconcentrados de San Buenaventura y Caranavi, existe un compromiso con el Departamento de La Paz y toda Bolivia para llevar adelante trabajos de investigación en diferentes áreas de su formación académica,

Como resultado de investigaciones, en el presente número de la Revista Industrial 4.0, se podrá encontrar trabajos desarrollados por prestigiosos profesionales quienes vienen investigando sobre el control de calidad, gestión de costos, recuperación de litio, industria del cemento, seguridad industrial y texturización de alimentos.

Un agradecimiento especial a los profesionales que conforman el Comité Editor, que destinan un tiempo valioso, en la revisión del material que es enviando por los investigadores para su consideración en la publicación regular que tiene la presente revista.

Asimismo, no podemos olvidar el apoyo de la Unidad de Sistemas y del personal administrativo de la Carrera de Ingeniería Industrial, que con su trabajo contribuyen a que los números de la revista no sean interrumpidos.

*Ing. MBA. Franz José Zenteno Benítez*  
**DIRECTOR**  
**INGENIERÍA INDUSTRIAL**

## ENSAYOS DEL HORMIGÓN FRESCO PARA LAS CONSTRUCCIONES EN LA PAZ

**EFRAIN SANTALLA ALEJO**  
ORCID:[0000-0002-8934-4859](https://orcid.org/0000-0002-8934-4859)  
[esantalla@umsa.bo](mailto:esantalla@umsa.bo)

Recibido: 7 de abril; aprobado: 15 de mayo

### RESUMEN

Este artículo presenta la importancia y uso de los ensayos que se deben realizar en el hormigón fresco, en las diferentes construcciones de la ciudad de La Paz, con el objeto de conocer las propiedades del concreto en su estado plástico, controlando que los parámetros de la mezcla se encuentren dentro de los estándares que se indican en la normativa (ASTM, 2004). Entonces la metodología será desarrollar la manera de ejecutar los ensayos en el hormigón fresco como son: temperatura, asentamiento, peso unitario y porcentaje de vacíos; mostrando su respectiva importancia, además de los equipos a emplear en cada uno, posteriormente la manera de realizar el registro de datos y análisis de resultados mostrado en las conclusiones; señalando las características que se deben evaluar en cada ensayo, con el fin de obtener un hormigón de buena calidad, aplicable a las construcciones de la ciudad de La Paz.

### PALABRAS CLAVES

Asentamiento, ACI, Agregado, Arena, Grava, Hormigón.

### ABSTRACT

*This article presents the importance and use of the tests that must be carried out on the fresh concrete, in the different constructions of La Paz city, in order to know the properties of the concrete in its plastic state, controlling that the parameters of the mixture are within the standards indicated in the regulations (ASTM, 2004). Then the methodology will be to develop the way to execute the tests in fresh concrete such as: temperature, settlement, unit weight and percentage of voids; showing their respective importance, in addition to the equipment to be used in each one, subsequently the way to carry out the data recording and analysis of results shown in the conclusions; pointing out the characteristics that must be evaluated in each test, in order to obtain a good quality concrete, applicable to the constructions of La Paz city.*

## KEYWORDS

Slump, ACI, Aggregate, Sand, Gravel, Concrete.

## 1. INTRODUCCIÓN

El estudio de las propiedades del concreto en su estado fresco, resulta importante porque influyen en las propiedades del hormigón endurecido y en la calidad como producto terminado. Resulta fundamental para que el concreto pueda ser transportado, compactado por los medios apropiados con el mínimo posible de energía, y tenga cohesión suficiente, donde no se produzca segregación o exudación. Otros procesos que experimenta el hormigón fresco, son los siguientes:

- **Consistencia**, es el estado de fluidez, o sea, al grado de humedad de la mezcla de hormigón fresco, o dicho en otras palabras, que tan seca o fluida es una mezcla de concreto.
- **Cohesividad**, es la resistencia de una mezcla de concreto fresco a la segregación y/o exudación.
- **Plasticidad**, es la propiedad del concreto que le permite ser fácilmente moldeado, cambiándolo de forma lentamente si se saca del molde en estado fresco.
- **Movilidad**, es la facilidad con la que el concreto fresco puede fluir alrededor del acero de refuerzo, dentro de las formaletas, etc.
- **Compactabilidad**, refiriéndose a la facilidad con la que el aire atrapado en la mezcla puede ser expulsado.

## 2. DESARROLLO

El control de la calidad del hormigón fresco comprenderá normalmente de la realización de ensayos en obra como el de temperatura, consistencia, y peso unitario y porcentaje de vacíos, con independencia de la comprobación del tamaño máximo del árido, o de otras características especificadas en un pliego de prescripciones técnicas particulares que se propone en la obra a construir. (Anibarro, 2015).

## 2.2 ENSAYOS DE TEMPERATURA EN EL HORMIGÓN FRESCO

La temperatura medida en el momento del ensayo puede no representar la de otro momento posterior. Con el TM (Tamaño Máximo) mayor a 75 mm se puede requerir hasta 20 min para transferir calor del agregado al mortero.

### 2.2.1 IMPORTANCIA Y USO DE LA TEMPERATURA DEL HORMIGÓN FRESCO

La temperatura influye en la calidad, tiempo de fraguado y resistencia del hormigón, sin control de temperatura predecir comportamiento del hormigón no es posible. Un hormigón fresco con temperatura inicial alta tendrá resistencia inicial más alta, pero probablemente más baja a edades tardías (Anibarro, 2015).

### 2.2.2 EQUIPO PARA EL HORMIGÓN FRESCO

**Recipiente:** Debe tener proporciones tales que al menos 75 mm recubran al sensor de temperatura en todas direcciones.

El hormigón fresco que debe cubrir al sensor tiene que ser tres veces mayor que el TM del agregado.

**Figura 1**  
*Recipiente*



*Fuente: Propia*

**Termómetro:** Rango de 0 a 50°C, variación de 0,5°C

Deben tener marca permanente para mostrar hasta donde deben insertarse

**Figura 2**  
Termómetro



*Fuente: Propia*

## Calibración

Para la calibración debe considerarse los siguientes aspectos:

- Calibración anual o cuando se dude de su exactitud.
- Se calibra con termómetro patrón comparando a dos lecturas con diferencia mínima de 15°C.
- Inmersión en aceite u otro líquido adecuado de densidad uniforme.
- Mantener constante la temperatura dentro de un rango de 0,2 °C
- Ambos termómetros mantenerlos sumergidos al menos durante 5 min.
- Revolver el líquido continuamente para mantener temperatura uniforme.

**Figura 4**

*Registro de Tiempo y Temperatura*



*Fuente: Propia*

### 2.2.3 MUESTREO DEL HORMIGÓN FRESCO PARA LA TEMPERATURA

Se puede medir en el equipo de transporte o en los moldes de descarga si es que el hormigón está rodeado por al menos 75 mm en todas direcciones.

Para muestreo en recipiente:

Humedecer el recipiente con agua.

Muestreo con ASTM C172.

Si solo se obtiene temperatura se puede prescindir de muestra compuesta.

**Figura 3**

*Muestreo del Hormigón*



*Fuente: Propia*

### 2.2.4 PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA EN EL HORMIGÓN FRESCO

Colocar el aparato medidor de modo que el sensor esté rodeado por 75 mm en todas direcciones.

Presionar suavemente la superficie de hormigón fresco para que la temperatura ambiental no afecte la medición.

Dejar el aparato de medición al menos 2 pero no más de 5 min.

Registrar la temperatura al 0,5°C más cercano

No remover mientras se esté realizando la medición.

Realizar el reporte de la medición con precisión de 0,5°C.

## **2.3 ASENTAMIENTO EN EL HORMIGÓN FRESCO**

El propósito es determinar la consistencia del hormigón fresco como medida de fluidez o movilidad relativa. Este ensayo no mide el contenido de agua o la trabajabilidad.

Muchos factores influyen en que el revenimiento cambie sin que se modifique el contenido de agua.

El contenido de agua puede modificarse sin cambio aparente en el revenimiento.

### **2.3.1 SIGNIFICADO Y EMPLEO DEL ASENTAMIENTO DEL HORMIGÓN FRESCO**

Originalmente ideado para monitorear la consistencia del hormigón fresco.

En laboratorio se puede correlacionar revenimiento, contenido de agua y resistencia del hormigón (Huerta, 2013).

En campo no se aprecian resultados concluyentes.

Se aplica para hormigón plástico de hasta 37,5 mm de TM de agregado

Para tamaños mayores aplicar el tamizado en húmedo con el tamiz de 1 ½" (ASTM C172)

No se aplica en hormigones no plásticos y no cohesivos, por tanto tomar precauciones con:

- Hormigón con revenimientos menores a 12 mm pueden no ser suficientemente plásticos
- Hormigón con revenimientos mayores a 230 mm pueden no ser suficientemente cohesivos

### 2.3.2 EQUIPO PARA LA DETERMINACIÓN DEL HORMIGÓN FRESCO

Molde: metálico de forma de cono truncado con un espesor no menor a 1,5 mm.

Base y parte superior abierta, paralela entre sí en ángulo recto con eje longitudinal

Parte interna del molde liso y libre de imperfecciones, abolladuras, deformaciones y mortero adherido.

La varilla de apisonamiento debe ser de acero, de 16mm de diámetro y aproximadamente 600mm de longitud con uno de sus extremos redondeados con punta hemisférica.

Cinta métrica o regla de medición (mínimo 30cm) con incrementos de 5mm o más pequeños.

Cucharón de un tamaño lo suficientemente grande como para introducir el hormigón al molde y lo suficientemente pequeño como para que el hormigón no se desparrame durante su colocación.

**Figura 5**  
Cono de Abrams



*Fuente: Propia*

**Figura 6**  
Equipo del Cono de Abrams



*Fuente: Propia*

**Figura 7**  
Cucharón



*Fuente: Propia*

### 2.3.3 PROCEDIMIENTO PARA EL ASENTAMIENTO DEL HORMIGÓN FRESCO

Se humedece el molde y se lo coloca sobre superficie plana, rígida y no absorbente. Debe ser firmemente sostenido por el operador en el lugar de llenado (pies en los estribos / fijación mecánica a placa no absorbente)

Se llena en tres capas, cada una de un tercio del volumen del molde (70 mm, 160 mm, completar molde)

Se compacta cada capa con 25 golpes de la varilla distribuidos uniformemente.

En la primera capa, se inclina la varilla ligeramente, avance en forma de espiral hacia el centro y cerca del perímetro (50% de los golpes) en todo su espesor.

En la segunda y tercera capas los golpes apenas deben penetrar en la inferior.

En la tercera capa el hormigón debe exceder la capacidad del molde antes de varillar, si faltara hormigón se puede agregar manteniendo siempre exceso sobre la superficie.

Después de haber varillado la capa superior empareje la superficie mediante enrase y rodamiento de la varilla de apisonamiento.

Mantenga el molde firmemente apisonado hacia abajo y remueva el hormigón del área que rodea la base para evitar la interferencia con el concreto a ensayarse.

Retire el molde levantándolo cuidadosamente en dirección vertical los 300mm de altura del molde en  $5\pm 2$  segundos con movimiento ascendente uniforme (sin movimientos laterales ni torsión)

La prueba debe realizarse sin interrupción en un periodo de tiempo de 2,5 minutos Mida el revenimiento determinando la diferencia vertical entre la parte superior del molde y el centro original desplazado de la superficie superior del espécimen.

Si ocurriera caída evidente de una porción, desplome o desprendimiento, deseche la prueba.

Si en dos ensayos consecutivos de una misma muestra se da esta situación, falla hormigón.

Registre el revenimiento en mm dentro de un rango de 5 mm.

### ***Control de la Consistencia del hormigón fresco***

La consistencia será la especificada en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o la indicada, en su momento, por la Dirección de Obra, tanto para los hormigones en los que la consistencia se especifica por tipo o por el asiento en cono de Abrams.

Se determinará el valor de la consistencia, mediante el cono de Abrams:

- Siempre que se fabriquen probetas para controlar la resistencia.
- Cuando lo ordene la Dirección de Obra.

## **2.4 PESO UNITARIO Y PORCENTAJE DE VACIOS DEL HORMIGÓN FRESCO**

En laboratorio se usa la prueba del peso unitario para determinar el contenido de aire ya que se conoce el peso teórico del hormigón calculado. Este peso unitario del hormigón endurecido depende de los pesos específicos y proporciones de sus materiales constituyentes (Cánovas, 2013). Para hormigones normales su valor oscila entre 2350 a 2550 kg/m<sup>3</sup>. Según CBH-87 la masa específica del hormigón sin armar se estima en 23 kN/m<sup>3</sup> y del hormigón armado con cuantías normales en 25 kN/m<sup>3</sup>.

**Rendimiento:** es el volumen de hormigón producido a partir de una mezcla de cantidades conocidas de los materiales que lo componen.

Prueba de densidad para controlar la calidad del hormigón recién mezclado ligero o pesado

Cambio a densidad más baja (sobrerendimiento) indica:

Cambio de materiales (menor gravedad específica)

Mayor contenido de aire

Mayor contenido de agua

Cambio proporciones materiales

Menor contenido de cemento

El contenido de cemento requerido para 1 m<sup>3</sup> se ha diluido para producir un mayor volumen de hormigón.

En laboratorio se usa la prueba del peso unitario para determinar el contenido de aire ya que se conoce el peso teórico del hormigón calculado.

### **2.4.1 EQUIPO PARA EL PESO UNITARIO DEL HORMIGÓN FRESCO**

- Balanza con precisión de 45 gramos o 0,3% de la carga de prueba (el mayor)
- Varilla de apisonado de acero de 16 mm, recta, longitud 600 mm, punta redondeada semiesférica
- Vibrador interno con frecuencia min. 7000 vibraciones/min, longitud aguja de 600 mm, diámetro de 19 mm y no mayor de 38 mm

- Recipiente de acero u otro metal que no reaccione fácilmente con la pasta cemento con capacidad de 28 Litros.
- Borde liso y plano (tolerancia máx. 0,3 mm).
- Placa de enrase de acero, recta y plana de 6 mm de espesor o placa de vidrio o acrílico de 12 mm de espesor y ancho/largo de mínimo 50 mm mayor que el diámetro del recipiente, con bordes rectos y lisos con una tolerancia de 2 mm.
- Mazo de cabeza de goma o cuero con peso de  $600 \pm 200$  gr para recipientes menores a 14 L, para mayores  $1000 \pm 200$  g.
- Cucharón con características similares a ensayo revenimiento.

**Figura 8**  
*Equipo del Peso Unitario*



*Fuente: Propia*

#### **2.4.2 PROCEDIMIENTO PARA EL PESO UNITARIO DEL HORMIGÓN FRESCO**

Compactación según revenimiento:

- Vibrado si revenimiento  $< 25$  mm
- Varillado o vibrado si  $25$  mm  $<$  revenimiento  $< 75$  mm
- Varillado si revenimiento  $> 75$  mm

Coloque el hormigón usando el cucharón, distribuyendo de forma uniforme y con el mínimo de segregación en el número de capas requerido según el método de compactación. Para VARILLADO coloque el hormigón en tres capas de mismo volumen.

Apisone cada capa de forma uniforme con 25 golpes para volumen de recipiente menor o igual a 14 L, 50 golpes para los de 28 L y un golpe por cada  $20$  cm<sup>2</sup> para recipientes más grandes

Apisone la primera capa sin golpear el fondo del molde.

Para las dos capas superiores penetre 25 mm en la capa inferior.

Después de cada capa golpee suavemente con el mazo de 10 a 15 veces los lados del molde para cerrar cualquier hueco por burbujas de aire atrapado.

Luego de consolidación vía varillado o vibrado, el exceso de hormigón debe ser de aproximadamente 3 mm por encima del tope del recipiente.

Si hubiese exceso de material quite lo necesario con una espátula o cucharón después de terminar la compactación. Si hay deficiencia se puede agregar una cantidad pequeña de hormigón para corrección.

Termine la superficie superior con la placa de enrasado.

Remueva y aplane presionando la placa sobre la superficie de hormigón del recipiente cubriendo aprox. 2/3 partes de ésta y retirando la placa con movimiento a manera de serrucho.

Luego coloque la placa en la parte superior del recipiente cubriendo los 2/3 originales de la superficie y avance con presión vertical y movimiento de aserrado y continúe empujándola hasta que se deslice completamente fuera del recipiente.

Varias pasadas producirán superficie de acabado liso

Limpie todo el hormigón del exterior del recipiente

Determine la masa del hormigón con la precisión requerida

### **Porcentaje de Vacíos**

Este ensayo es de control al hormigón, el cual debe realizarse a la par con el Peso Unitario.

### **3. ANÁLISIS Y CÁLCULOS DEL PESO UNITARIO DEL HORMIGÓN FRESCO**

Se basa en determinaciones de laboratorio bajo la suposición de que se mantiene constante para las bacheadas con componentes idénticos:  $T = M / V$

$T$  = densidad teórica del hormigón, calculada libre de aire,  $\text{kg}/\text{m}^3$ .

$M$  = masa total de todos los materiales de la mezcla,  $\text{kg}$

$V$  = volumen total absoluto de los ingredientes de la mezcla,  $\text{m}^3$ .

El peso específico por volumen y la masa de los agregados deben basarse en la condición saturada superficialmente seca.

El peso total de todos los materiales es la suma de los pesos del cemento, el agregado fino y grueso en la condición usada y el agua u otro aditivo añadido.

**Densidad** (peso unitario):  $D = \frac{Mc - Mm}{Vm}$

$D$  = densidad del hormigón en  $\text{kg}/\text{m}^3$ .

$M_c$  = masa del recipiente con hormigón en kg.

$M_m$  = masa recipiente medición en kg.

$V_m$  = volumen de la medida en  $m^3$ .

**Rendimiento:**  $Y = M/D$  ( $m^3$ )

$Y$  = rendimiento, volumen de hormigón producido por mezcla en  $m^3$ .

$M$  = masa total de todos los materiales de la mezcla en kg.

$D$  = densidad (peso unitario) del hormigón en  $kg/m^3$ .

**Rendimiento relativo:**  $R_v = Y/Y_d$

$R_v > 1$  indica exceso de hormigón producido

$R_v < 1$  la mezcla se queda corta respecto al volumen diseñado

$R_v$  = volumen relativo

$Y$  = rendimiento, vol. de hormigón producido por mezcla en  $m^3$ .

$Y_d$  = volumen de hormigón de la mezcla que fue diseñada para producir en  $m^3$ .

### **Reporte del Resultado del Hormigón Fresco**

En el reporte se debe describir los siguientes parámetros:

Identificación de la muestra de hormigón.

Fecha de la prueba.

Volumen del recipiente al 0,01 L más cercano.

Densidad (peso unitario) al 1,0  $kg/m^3$  más cercano.

Rendimiento al 0,1  $m^3$  más cercano.

Rendimiento relativo al 0,01 más cercano.

Contenido de cemento al 0,5 kg más cercano.

### **Ejemplo de Cálculo para el Hormigón Fresco**

A continuación, se muestra solo un ejemplo de cálculo de la manera de determinar el peso unitario y el porcentaje de aire.

Se tienen los siguientes datos obtenidos de laboratorio:

$P_{UAGUA} = 0,99903 kg/l$

$W_{AGUA} = 7,695 kg$

$V_{REVOLTURA} = 0,030 m^3$

**Tabla 1**  
 Datos para el Peso Unitario

MATERIAL	PESO (kg)	VOLUMEN (l)
Cemento	13,637	4,572
Arena Húmeda	17,242	6,311
Grava Húmeda	37,135	13,628
Agua Añadida	6,549	6,549
TOTAL	74,563	31,060

Fuente: Propia (2023)

$$\text{Volumen del Recipiente: } V_{\text{RECIPIENTE}} = \frac{W_{\text{agua}}}{PU_{\text{agua}}} = \frac{7,695\text{kg}}{0,99903 \frac{\text{kg}}{\text{l}}} = 7,702\text{l} = 7702\text{cm}^3$$

$$\text{PU de la mezcla: } PU_{\text{MEZCLA}} = \frac{W_{\text{MEZCLA}}}{V_{\text{RECIPIENTE}}} = \frac{18,408\text{kg}}{7702\text{cm}^3 \cdot \frac{1\text{m}^3}{(100\text{cm})^3}} = 2390 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Rendimiento: } R = \frac{PU_{\text{TOTAL}}}{PU_{\text{MEZCLA}}} = \frac{74,563}{2390} = 0,031156$$

$$\text{Rendimiento Relativo: } R_r = \frac{0,031156}{0,03} = 1,0385$$

Como  $R_r > 1$  indica exceso de hormigón producido

$$\text{Cantidad de Cemento: } C = \frac{P_{\text{CEMENTO}}}{R} = \frac{13,637}{0,031156} = 437,7\text{kg}$$

$$\text{Peso Unitario Total: } PU_{\text{TOTAL}} = \frac{P_{\text{TOTAL}}}{V_{\text{TOTAL}}} = \frac{74,563}{0,031060} = 2401 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Contenido de Aire: } \% \text{ Aire} = \frac{2401 - 2390}{2401} 100 = 0,46\%$$

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

Con lo expuesto en éste artículo se puede concluir que:

- La temperatura del hormigón fresco afecta el comportamiento de los aditivos químicos e inclusores de aire y de los materiales puzolánicos, por tanto, se debe realizar la medición de su valor en el hormigón fresco, no solo en laboratorio, sino en las diferentes obras de la ciudad de La Paz, pero en la mayor parte de las construcciones no se lo realiza.

- La temperatura influye en la calidad, tiempo de fraguado y resistencia del hormigón; y como en la ciudad de La Paz la temperatura es muy cambiante, se debe realizar de manera instantánea el control de la temperatura para predecir el comportamiento del hormigón. Un hormigón fresco con temperatura inicial alta tendrá resistencia inicial más alta, pero probablemente más baja a edades tardías.
- Conociendo la temperatura del hormigón fresco, se puede decidir sobre el tipo de curado y protección a realizar en el elemento estructural.
- El asentamiento del hormigón fresco, es influido por el cambio en las propiedades de los agregados, granulometría, proporciones de la mezcla, contenido de aire, temperatura o uso de aditivos, para hormigones convencionales en la ciudad de La Paz se recomienda que el revenimiento sea mayor a 6 cm.
- El peso unitario del hormigón fresco varía con el tiempo, debido a la evaporación del agua de amasado hacia la atmósfera, en algunos casos el peso específico puede variar hasta en un 7% con respecto a su peso específico inicial, además el peso unitario está relacionado con otras propiedades como ser la resistencia, la aislación térmica y acústica, etc., según el Código Boliviano del Hormigón el peso unitario varía entre 2350 a 2550 kg/m<sup>3</sup>, en nuestro ejemplo para La Paz se obtuvo un valor total de 2401 kg/m<sup>3</sup>, lo cual está dentro de un hormigón de peso normal.
- El cambio en el peso unitario del hormigón fresco afecta la bombeabilidad, colocación, acabado y resistencia.

#### **4.2 Recomendaciones**

- El presente artículo puede ser utilizado como una guía para personas o instituciones que quieran realizar ensayos de control en las mezclas de hormigón.
- Para aplicar los parámetros calculados en éste artículo, se recomienda revisar la monografía de Diseño de Mezclas para Estructuras de Hormigón Armado, el cual presenta el cálculo de la dosificación para los diferentes elementos estructurales de una edificación, demostrando que la cuantificación de los

materiales constituyentes para mezclas de hormigón no puede ser la misma en todos los elemento estructurales (Santalla, 2019).

## 5. BIBLIOGRAFÍA

- 📖 Anibarro, F. C. (2015). Introducción al Diseño de Mezclas de Hormigón. La Paz: Instituto de Ensayo de Materiales.
- 📖 ASTM, (2004). Anual Book of ASTM Standards section 4. American: Concrete and Aggregates.
- 📖 Cánovas, M. F. (2013). Hormigón. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
- 📖 Huerta, C. (2013). Diseño de Mezclas de Concreto. Lima - Perú: EPE.
- 📖 Quiroz, M., & Lucas, S. (2006). Apoyo Didáctico para la enseñanza y aprendizaje en la asignatura de "Tecnología del Hormigón". Cochabamba - Bolivia: UMSS.
- 📖 Santalla, E., (2019). Diseño de Mezclas para Estructuras de Hormigón Armado. La Paz – Bolivia. Monografía - CEFORPI.



ESTADO PLURINACIONAL DE BOLIVIA  
Ministerio de Educación  
Moromboguasú Jeroata  
Yachay Kamachina  
Yaticha Kamana

00056

MINISTERIO DE  
**educación**  
ESTADO PLURINACIONAL DE BOLIVIA



LA COMISIÓN NACIONAL DE ACREDITACIÓN  
DE CARRERAS UNIVERSITARIAS

En sujeción y al amparo de la Ley N° 070 de la Educación "Avelino Siñani - Elizardo Pérez"  
del 20 de diciembre de 2010

**CERTIFICA**

Que la Carrera de:

**INGENIERÍA INDUSTRIAL**

de la

**UNIVERSIDAD MAYOR DE  
SAN ANDRÉS**

con sede académica en la ciudad de LA PAZ, ha cumplido  
los criterios establecidos para la

**ACREDITACIÓN**

al Sistema **ARCU - SUR**, del **MERCOSUR EDUCATIVO**

Este reconocimiento de la Calidad Académica tiene alcance Regional en el **MERCOSUR**,  
con validez de un periodo de seis (6) años.

La Paz, septiembre de 2019

Lic. L. Antonio Carvalho Suárez  
Vocal de la Comisión Nacional de  
Acreditación de Carreras Universitarias de Bolivia

Msc. Lic. Eduardo Cortez Baldovino  
Presidente de la Comisión Nacional de  
Acreditación de Carreras Universitarias de Bolivia

Abog. Juan Justo Roberto Bobadilla Ayala  
Vocal de la Comisión Nacional de  
Acreditación de Carreras Universitarias de Bolivia



**COMITÉ EJECUTIVO DE LA UNIVERSIDAD BOLIVIANA**

Certifica que:

La **CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL** de la **UNIVERSIDAD MAYOR DE  
SAN ANDRÉS**, ha concluido de manera satisfactoria el proceso de Evaluación Externa con  
fines de Acreditación, de acuerdo al Reglamento vigente en el Sistema de la Universidad  
Boliviana.

Que, al amparo de la Resolución No. 92/2023 de la II Conferencia Nacional Ordinaria de  
Universidades, llevada a cabo el día 14 de febrero del año en curso, en la ciudad de Sucre, la  
**CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL** de la Universidad Mayor de San Andrés de  
la ciudad de La Paz es reconocida como:

**UNIDAD ACADÉMICA ACREDITADA**

El periodo de Acreditación se extiende hasta el 05 de septiembre del 2025.

Es cuanto certificamos en honor a la verdad con el respaldo de la documentación respectiva.

La Paz, marzo 2023

M.Sc. Ing. Freddy Mendoza Espinoza  
SECRETARIO EJECUTIVO NACIONAL

M.Sc. Lic. José Luis Sepúlveda Saucedo  
SECRETARIO NACIONAL DE EVALUACIÓN  
Y ACREDITACIÓN

Abog. Israel Hugo Centellas Vargas  
SECRETARIO NACIONAL DE  
DESARROLLO INSTITUCIONAL

Ing. Mario Fernando Urey Contreras  
SECRETARIO NACIONAL ACADÉMICO



industrial.umsa.bo / iiifi.umsa.bo / inuisiso.umsa.bo / iniam.umsa.bo



Universidad Mayor de San Andrés  
Facultad de Ingeniería

Todos los Derechos Reservados, 2023  
La Paz - Bolivia



Av. Mcal. Santa Cruz N° 1175  
Plaza del Obelisco  
Mezzanine, Edificio Facultad de Ingeniería  
Tel. 2205000 - 2205067 Int. 1402  
Web: [industrial.umsa.bo](http://industrial.umsa.bo)  
Email: [ingindustrial@umsa.bo](mailto:ingindustrial@umsa.bo)  
[revistaindustrial4.0@umsa.bo](mailto:revistaindustrial4.0@umsa.bo)  
Campus Universitario - Cota Cota, calle 30

by:

