

Dosificación experimental a nivel de laboratorio en hormigones lateríticos con el método IBRACON IPT

Romina Mendez¹, Boris C. Camacho^{1,*}

¹Laboratorio de Resistencia de Materiales y Estructuras, Departamento de Civil, Facultad de Ciencias y Tecnología, Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba, Bolivia

*christianboriscamacho.p@fcyt.umss.edu.bo

Resumen

El presente trabajo aplica el método de dosificación experimental IBRACON IPT en hormigones trabajados con agregado laterítico proveniente de Riberalta (Beni) a nivel de laboratorio mediante la caracterización mecánica. En la región amazónica de Bolivia la creciente demanda en la industria de la construcción vinculada con la tradición de utilizar agregados convencionales en obras civiles, ha generado la sobreexplotación de canteras y yacimientos escasamente disponibles en la zona, afectando en gran manera a la sostenibilidad de estos recursos; poniendo en riesgo la disponibilidad de materiales pétreos en el futuro. Asimismo, el costo de agregados pétreos en esta zona es tres veces más alto en relación a otras regiones de Bolivia donde se tiene mayor disponibilidad de agregados convencionales, esto debido a las distancias de transporte las cuales son de cientos de kilómetros en algunos casos. El material granular laterítico es presentado como alternativa de material de construcción para hormigones de trabajos civiles en general, dependiendo de la resistencia a compresión que este presente. Es así que, para la evaluación de las propiedades mecánicas a nivel laboratorio de este hormigón compuesto de laterita se realizaron 27 probetas las cuales se ensayaron a compresión a la edad de 7, 14 y 28 días, tomando en cuenta como variables independientes los trazos en relación cemento: agregados variando en 1: 5 ±1.5, se optó por una combinación de agregados hasta determinar el menor porcentaje de vacíos, como resultado se obtuvo 45% arena y 55% grava. El banco presentado con una combinación de 45/55 de agregados, llegó a una resistencia máxima de compresión de 29,34 MPa a la edad de 28 días.

Palabras clave: *Hormigón, Suelo Laterítico, Método de Dosificación IPT, Laboratorio.*

Abstract

The present work applies the IBRACON IPT experimental dosage method in concrete worked with lateritic aggregate from Riberalta (Beni) at the laboratory level through mechanical characterization. In the Amazonian region of Bolivia, the growing demand in the construction industry and the tradition of using conventional aggregates in civil works has generated the overexploitation of quarries and scarcely available deposits in the area, greatly affecting the sustainability of these resources and putting at risk the availability of stone materials in the future. Also, the cost of stone aggregates in this area is three times higher than the cost in other regions of Bolivia where there is greater availability of conventional aggregates, due to the transportation distances which are hundreds of kilometers in some cases. The lateritic granular material is presented as an alternative construction material for concrete for civil works in general. For the evaluation of the mechanical properties at the laboratory level of this laterite composite concrete, 27 specimens were made, which were tested in compression at the age of 7, 14 and 28 days, taking into account as independent variables the traces in relation to cement. aggregates varying this in 1: 5 + 1.5, a combination of aggregates was chosen until determining the lowest percentage of voids, as a result 45% sand-55% gravel was obtained. The bench presented with a combination of 45/55 aggregates reached a maximum compressive strength of 29.34 MPa at the age of 28 days.

Key words: *Concrete, Lateritic Soil, IPT Dosing Method, Laboratory.*

1. Introducción

Hormigones o concretos, dos palabras cuyo significado y aplicación tienen gran importancia dentro del área de la construcción en el mundo, se conoce que esta mezcla se conforma por elementos base como el cemento portland, agregados, agua y aire, caracterizado por su variabilidad, trabajabilidad, durabilidad y resistencia a fuerzas de compresión, siendo actualmente el material más utilizado en el mundo. Se han realizado cuantiosas investigaciones cuyos resultados mostraron hallazgos cada vez más interesantes dentro del mejoramiento de las propiedades del hormigón.

El uso de materiales alternativos en la construcción civil solo es posible cuando presentan estudios científicos y ventajas económicas que avalen su uso. (Rodríguez Pantoja Junior & de Souza Picanço, 2020). Los suelos tropicales tienen un comportamiento peculiar en relación a otros suelos, lo que hace necesario investigar la influencia de la cementación creada por la meteorización (Queiroz de Carvalho et al, 2005).

La búsqueda de alternativas que apunten a satisfacer la demanda comercial de un sector de la economía en constante expansión, incluso en tiempos de crisis económica, y que, al mismo tiempo, no intensifique la degradación del medio ambiente, la inclusión de elementos alternativos al hormigón es muy prometedora, para la exploración de agregados alternativos de sus diversos suelos. (Gonçalves et al, 2021).

De esta forma, el presente trabajo busca expandir el conocimiento acerca del uso de materiales lateríticos formados en suelos orientales bolivianos, estos suelos presentan características físicas, químicas y mineralógicas muy particulares que influyen en el comportamiento de estos agregados con el concreto. Es así que, el presente artículo se enfoca en la resistencia del hormigón aplicada a estructuras tomando en cuenta el tiempo de curado, la porosidad, el contenido de humedad (%), la relación agua cemento (a/c) y la modificación del tamaño de grano mediante la inserción de arena laterítica.

La resistencia a compresión es totalmente dependiente de las variables antes mencionadas y los materiales a utilizar, por lo que es necesario conocer todas las variables que intervienen en el diseño de mezclas,

tal como lo menciona Tutikian y Helene (2011), el objetivo de un estudio de dosificación es obtener una resistencia determinada, sin dejar de lado la economía y la sostenibilidad que deben guiar siempre un estudio de dosificación. Por esta razón la industria de la construcción a nivel nacional siempre busca alternativas para reducir los costos y promover prácticas eco sostenibles, valorando siempre los materiales encontrados regionalmente a nivel Bolivia.

2. Materiales y Métodos

Suelos lateríticos en Bolivia

Los suelos lateríticos en Bolivia se forman en las regiones del oriente y noreste del país, debido a las diversas condiciones favorables que aportaron distintas eras geológicas y a las condiciones climáticas intensas de estas regiones (temperaturas elevadas, alta pluviosidad etc.). Las zonas con suelos lateríticos en Bolivia abarcan las provincias Chiquitos, Sandóval, Velasco, Ñuflo de Chávez en Santa Cruz, provincias Iténez, Yacuma, Vaca Diez en Beni y parte de la provincia Federico Román en Pando. La extracción de este material se presenta en la Figura 1.



Figura 1. Extracción de grava laterítica Beni - Riberalta.

Arena residual

Como material fino, para la investigación se decidió utilizar arena residual, esta es muy común encontrarla por acopios en las ciudades del oriente, la muestra a usar tiene como procedencia la ciudad de Riberalta (Figura 2).



Figura 2. Extracción de arena residual de acopio en la ciudad de Riberalta.

Dosificación del hormigón

Obtener hormigones de calidad dentro la industria de la construcción va ligada con la dosificación de diseño, esta depende de:

- Control, manejo y almacenamiento de materiales.
- Caracterización de agregados.
- Preparación y pesaje de material.
- Condiciones de mezclado según la ASTM C-94.

El análisis previo de los materiales influye en la determinación óptima de cantidades, el cual deberá ir de acuerdo con los requerimientos de diseño, sea de manera teórico, empírico o empírico directo.

Método experimental de dosificación IBRACON IPT

El método de dosificación experimental IBRACON IPT, se caracteriza por combinar leyes teóricas combinadas con estudios experimentales realizados previamente en laboratorio, “una dosificación experimental tendrá por fin establecer un trazo de concreto para que este tenga una resistencia y una trabajabilidad previstas, este último expresado por la consistencia” (Helene & Terzian, 1992).

Leyes teóricas con aplicación en hormigones

Según Tutikian & Helene (2011), la aplicación de hormigones se rige con base a tres leyes de comportamiento:

- **Ley de Abrams (1918):** la resistencia a una edad determinada (f_{c_j}), es inversamente proporcional a la relación agua/cemento (a/c).

$$f_{c_j} = \frac{k_1}{k_2 a/c} \quad (1)$$

- **Ley de Lyse (1932):** la consistencia del concreto fresco depende preponderantemente de la cantidad de agua por metro cúbico de concreto.

$$m = k_3 + k_4 * \frac{a}{c} \quad (2)$$

- **Ley de Prizskulnik & Kirilos (1972):** Este indica que el consumo de cemento por m^3 de hormigón varía en proporción inversa a la relación en masa seca de áridos/cemento (m).

$$C = \frac{1000}{k_5 + k_6 * (m)} \quad (3)$$

donde:

f_{c_j} : Resistencia del hormigón (Edad j).

m = combinación de agregados gruesos y finos.

C = consumo de cemento por metro cúbico.

$k_1, k_2, k_3, k_4, k_5, k_6$ = constantes de materiales específicos obtenidos por regresión.

El método IBRACON explica que a mayor compacidad entre agregados, se obtendrá un menor consumo de agua, por lo que a menor relación a/c se presentaran mayores resistencias y viceversa. Para llevar a cabo dicho proceso se deben tomar en cuenta los siguientes comportamientos en la mezcla:

- **Contenido de mortero seco**

$$\alpha = \frac{1+a}{1+m} \quad (4)$$

- **Relación agua/material**

$$H = \frac{a/c}{(1+m)} \quad (5)$$

- **Consumo de cemento por m^3**

$$C = \frac{\gamma}{1+a+\rho+\frac{a}{c}} \quad (6)$$

donde:

γ =densidad del concreto (kg/m^3)

a = relación agregado fino seco.

ρ = relación agregado grueso seco.

Donde se conoce que la combinación de agregados gruesos y finos será igual a la ecuación (7):

$$m = a + \rho \quad (7)$$

Trazo de diseño ($c: m$)

Según Tutikian & Helene (2011), manteniendo constante el contenido de mortero seco en relación a

agua/materiales secos, se calcula analíticamente las proporciones para tres trazos, uno más rico tipo (1: m-1 o 1: m-0,5) y uno más pobre tipo (1: m+1 o 1: m+0,5).

La principal característica de determinar el trazo de diseño para la dosificación experimental es que esta podrá ser aplicada en mezclas que contengan materiales iguales o similares a los aplicados inicialmente, como ser, material granular grueso y fino, tipo de cemento a usar, aditivos, etc, a través de una correlación trabajando con el diagrama de dosificación IPT.

Diagrama de dosificación IPT

Introducido por Prizskulnik & Kirilos, en 1974, el diagrama de dosificación IPT muestra gráficamente el comportamiento de la mezcla del hormigón en diferentes aspectos, los cuales se muestran en tres cuadrantes descritos a continuación:

Ic: Se muestra la curva ajustada en base a la relación a/c y f'c, a diferentes edades, correspondiendo a la (ec.1), ley de Abrams.

Iic: Se relacionan los datos a/c, proporción de agregados (m), según la (ec.2), ley de Lyse.

IIic: Correlaciona los resultados en base a la (ec.3), ley de Prizskulnik & Kirilos.

El resultado que se busca obtener a través de las 3 leyes teóricas (ec.1, 2 y 3) se muestra a continuación en la Figura 3.

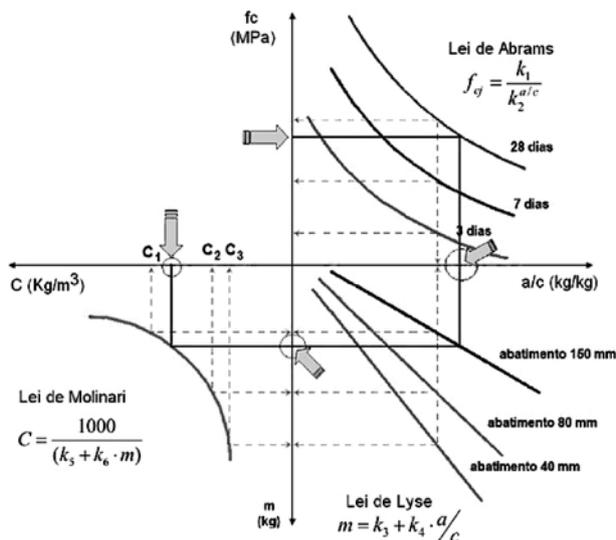


Figura 3. Diagrama de dosificación IBRACON IPT (Helene & Terzian, 1992).

Comportamiento mecánico ensayos de hormigón

Determinar el efecto que proporcionan los materiales lateríticos en el comportamiento mecánico del hormigón es elemental, pues a través de este se puede determinar el tipo de aplicación directa según su capacidad de resistencia para el tipo de carga a soportar.

Resistencia a compresión (f'c)

Este método de prueba cubre la determinación de resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto tales como moldeados cilindros y núcleos perforados. (ASTM C39, 2018)

Según Borges Pompeu Neto (1976), la resistencia del concreto es influenciada principalmente por los siguientes factores:

- Factor agua/cemento
- Proporción cemento/agregados (Trazo)
- Gradación, textura, forma, Resistencia y dureza de las partículas del agregado.
- Tamaño máximo del agregado.

Los resultados a compresión dependerán también de las dimensiones de la probeta y principalmente de la ejecución de vaciado de esta.

3. Resultados y Discusión

Ensayos experimentales ejecutados en laboratorio

Para llevar a cabo el proceso de investigación, se dividió esta en 3 fases, las cuales son:

Fase I: Caracterización de agregados finos y gruesos

El material granular fue preparado inicialmente mediante un proceso de lavado y secado a una temperatura de 100 ° C, la arena residual, únicamente se secó y posteriormente se realizó la caracterización física de los mismos.

Debido a su proceso de formación, las concreciones lateríticas presentan una gran cantidad de material pulverulento (Gonçalves Duarte Mendonça et al, 2021). Esto se evidenció a través de la comparación entre aguas de lavado, se nota claramente que esta no cambia de color por la gran cantidad de finos que contiene.

Granulometría del agregado grueso

Este método de ensayo se utiliza principalmente para determinar la clasificación de los materiales propuestos para su uso como agregados. Los resultados determinan el cumplimiento de la distribución de tamaño de partícula, y proporciona los datos necesarios para el control de la producción de diversos productos de agregados y mezclas. (ASTM C136, 2018)

La Figura 4 presenta la distribución granulométrica del árido empleado en la investigación el cual presenta un tamaño máximo de 1” y tamaño máximo nominal de 3/4”. La Tabla 1 muestra el resultado de la composición granulométrica para el banco estudiado.

Si bien la curva granulométrica del agregado grueso se encuentra fuera de los límites superior e inferior propuestos por la ASTM C-33, esto no afecta la dosificación puesto que, al aplicar el método de dosificación de tipo experimental IBRACON – IPT, el material granular puede ser utilizado sin problemas ya que se consideró una combinación óptima de agregados finos y gruesos, explicado a continuación en la fase II.

Tabla 1

Composición granulométrica agregado grueso (banco 3)

PROCEDENCIA		BANCO 3	
Tamiz	Abertura (mm)	%Retenido tamiz	%Que pasa
2"	50,00	0,00	100,00
1 1/2"	37,50	0,00	100,00
1"	25,00	0,00	100,00
3/4"	19,00	0,00	100,00
1/2"	12,50	19,20	80,80
3/8"	9,50	14,22	66,58
N°4	4,75	54,77	11,81
Bandeja	-----	11,81	0,00
Módulo de fineza:		6,22	

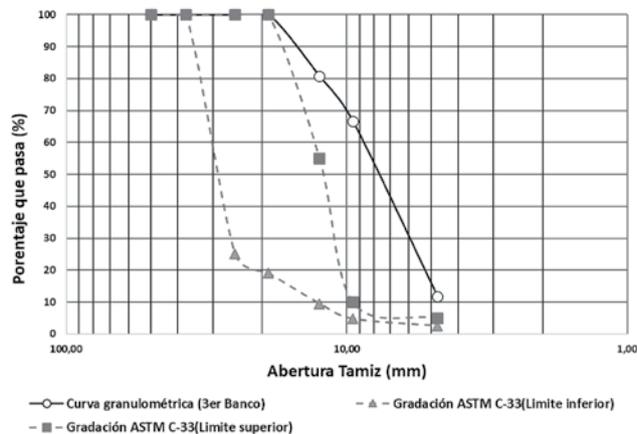


Figura 4. Curva granulométrica grava 3/4” (Banco 3).

Granulometría de la arena residual

La composición granular de la arena residual se muestra en la Tabla 2, seguida de la curva granulométrica en la Figura 5, donde se obtuvo un módulo de fineza de 2,25.

Tabla 2

Composición granulométrica arena residual

Tamiz	Abertura (mm)	%Retenido tamiz	%Que pasa
3/8"	9,50	0,00	100,00
N°4	4,75	0,13	99,87
N°8	2,36	1,94	97,93
N°16	1,18	10,63	87,30
N°30	0,60	28,94	58,36
N°50	0,30	35,23	23,13
N°100	0,15	14,97	8,16
N°200	0,08	6,55	1,60
Bandeja	-----	1,60	0,00
Módulo de fineza:		2,25	

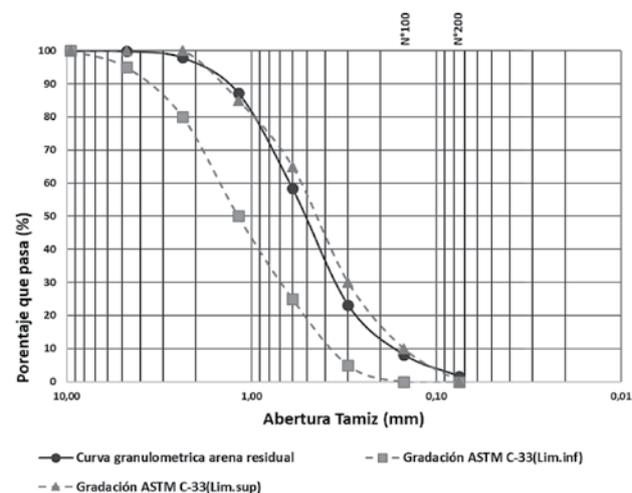


Figura 5. Curva granulométrica arena residual.

Peso específico (γ) y porcentaje de absorción

Este método de ensayo cubre la determinación de la densidad media de una cantidad de partículas de áridos gruesos (sin incluir el volumen de huecos entre las partículas), la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción del agregado grueso. (ASTM C127, 2017)

Los resultados obtenidos al ejecutar el ensayo de peso específico (Tabla 3), nos arrojan valores que se encuentran dentro del rango promedio de agregados convencionales, los cuales van de 2,133 gr/cm³ a 2,837 gr/cm³, se obtuvo un 11% como valor para el porcentaje de absorción, esto es normal al tratarse de arcillas consolidadas donde normalmente la absorción suele ser de hasta el 15%.

Tabla 3

Peso específico y % de absorción del agregado grueso laterítico y arena residual

Tipo de Material	γ seco (gr/cm ³)	γ aparente (gr/cm ³)	% absorción
Grava laterítica	2,133	2,837	11,635
Arena residual	2,558	2,676	1,717

Los valores obtenidos de peso específico se usarán para obtener la combinación de agregados óptima a aplicar en la dosificación (Fase II).

La densidad relativa (gravedad específica) también se utiliza en el cálculo de porcentaje de vacíos en los áridos en el método de ensayo (ASTM C 29,2017).

Peso unitario suelto (P.U.S) y compactado (P.U.C)

Este método de ensayo determina la densidad aparente (peso unitario) de los áridos compactados o sueltos y los vacíos calculados entre las partículas de los áridos finos, gruesos, o agregados mixtos basados en la misma determinación, aplicable a los agregados que no excedan de 5 pulg. (125 mm) de tamaño máximo nominal (ASTM C29, 2017), los resultados del ensayo se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4

Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso laterítico y arena residual

Tipo de material	P.U.S (gr/cm ³)	P.U.C (gr/cm ³)
Grava laterítica	1,145	1,264
Arena residual	1,559	1,721

A partir de los cálculos realizados según las ecuaciones indicadas por la ASTM C29, se obtuvieron como resultado los valores indicados en la Tabla 4, donde los valores usuales de peso unitario suelto se encuentran entre 1.5 - 1.6 para gravas, 1.4 - 1.5 para arenas y los valores usuales para peso unitario compactado son 1.6 – 1.9 para gravas, 1.5 – 1.7 para arenas, partiendo de estos, es posible evidenciar que los resultados obtenidos para la grava laterítica del banco estudiado y la arena residual se encuentran dentro de los parámetros considerados para el diseño de un buen hormigón aplicado a obras civiles.

Resistencia a la degradación del agregado grueso por abrasión e impacto en la máquina de los Ángeles

El porcentaje de desgaste de la grava laterítica, tomando en cuenta la distribución granulométrica, donde se conoce que el tamaño máximo nominal es de 3/4", a partir de este dato se adoptó el tipo de gradación (B y C), se utilizaron 11 y 8 esferas respectivamente como carga. Los resultados se indican en la Tabla 5.

Para un tamaño máximo nominal de 19,0 mm (3/4 pulgadas) de agregado grueso de 19.0 mm (3/4 pulg.) con pérdidas porcentuales en el rango de 10 a 45 %. (ASTM C131, 2020)

Tabla 5

Resultados resistencia a la degradación del agregado grueso laterítico

Tipo de material granular	Gradación tipo	% Desgaste
Grava laterítica	B	45,55
	C	36,52

Tomando en cuenta el dato anteriormente mencionado se evidenció que la grava laterítica presenta pérdidas considerables, pero se mantiene dentro del rango especificado por la ASTM C131, para una gradación tipo B con un valor de desgaste de 45.55% y para una gradación tipo C de 36,52%. Estos valores difieren en cantidad con los valores de los agregados convencionales ya que estamos tratando con un material arcilloso con un cierto grado de compactación.

Fase II: Combinación óptima de agregados finos y gruesos

La relación de agregados óptima, entre gruesos y finos se realizó a través del método cubano Viterbo O'Reilly donde se busca obtener el menor porcentaje de vacíos. Para determinar el menor porcentaje de vacíos con los agregados trabajados se definieron 11 mezclas en diferentes proporciones de porcentaje, donde el primer paso a realizar fue determinar la densidad o peso específico de la mezcla de agregados (8), la Figura 6 presenta una de las combinaciones realizadas:

$$Dm = \frac{\gamma_{arena} * \%A + \gamma_{grava} * \%G}{100} \quad (8)$$

Donde:

Dm: Peso específico corriente de la mezcla de agregados.

γ_a : Peso específico corriente o seco de la arena

γ_g : Peso específico corriente o seco de la grava

%A: Porcentaje de la arena en la mezcla

%G: Porcentaje de la grava en la mezcla

El segundo paso fue determinar el % de vacíos en relación al peso unitario de la mezcla (9):

$$\%vacios = \frac{Dm - P.U.Cm}{Dm} * 100 \quad (9)$$

Donde:

P.U.C m= Peso unitario compactado de la mezcla de agregados.

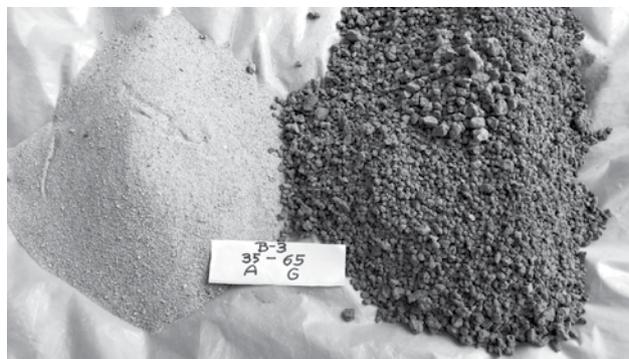


Figura 6. Material usado para la ejecución de combinación 45%grava-55%arena.

El procedimiento propuesto por el cubano Viterbo O'Reilly recomienda la combinación grava/arena que proporcione el menor contenido de vacíos, el contenido del cemento y del agua, los cuales determinan mediante factores que dependen de la relación agua-cemento y de la consistencia deseada en la mezcla. Recomendado cuando se tiene agregados de forma y tamaño irregular. (Yoc Juárez, 2007)

Los resultados producto de las diferentes combinaciones realizadas se muestran en la Tabla 6.

La tabla 6 muestra los resultados obtenidos donde el porcentaje de vacíos mínimo es de 25,464 para una proporción de 50% arena y 50% grava, optando por la combinación de 45% arena y 55% grava para la mezcla (m), la curva ajustada para el porcentaje de vacíos se muestra en la figura 7.

Tabla 6

Combinación de agregados vs. % vacíos

Nº Ensayo	Proporción De Agregados		% De Vacíos 45%- 55%
	Arena	Grava	
1	35%	65%	30,734
2	40%	60%	29,725
3	45%	55%	28,939
4	50%	50%	25,464
5	55%	45%	26,655
6	60%	40%	26,433
7	65%	35%	26,345
8	75%	25%	28,409
9	80%	20%	30,567
10	85%	15%	31,857
11	90%	10%	34,089

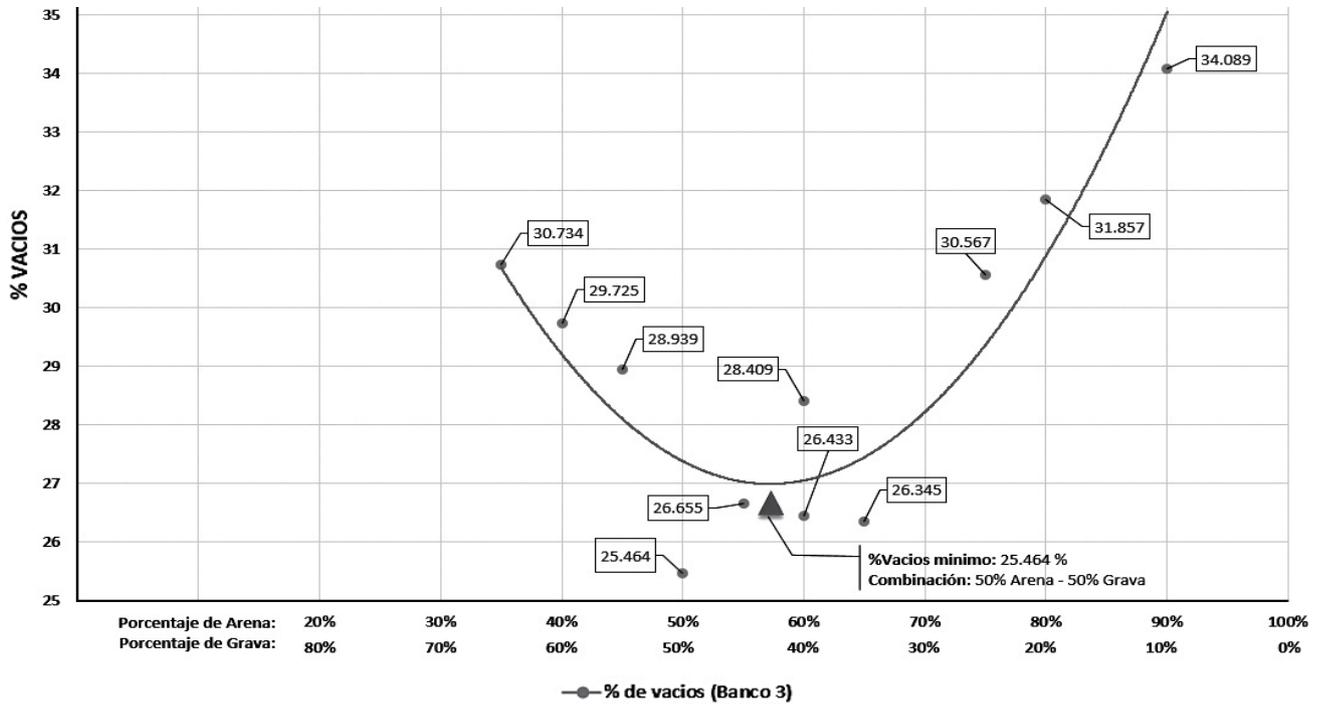


Figura 7. %Vacíos mínimo, combinación 45% arena - 55% grava.

Fase III: Cálculo del contenido óptimo de mortero seco por el método IBRACON – IPT

Trazos de dosificación

La tercera fase de investigación realiza la gráfica de dosificación IPT se necesita variar los trazos, mínimamente en 3 puntos, para este trabajo se asumieron los siguientes trazos (Tabla 7):

Tabla 7

Trazos usados para la dosificación experimental

Trazos utilizados	
Trazo rico	1: 3,5
Trazo medio	1: 5,0
Trazo pobre	1: 6,5

De esta forma se trabajó variando el trazo en 1: 1,5. Según Helene & Terzian (1992), la falta de mortero en la mezcla provoca porosidad en el hormigón o fallos de hormigonado. Sin embargo, el exceso da mejor apariencia al concreto, pero aumenta el costo por metro cubico, así como el riesgo de agrietamiento por origen térmica por contracción de secado. (Helene & Terzian, 1992)

Rotura a compresión de probetas con hormigón laterítico

Para evaluar las propiedades mecánicas del hormigón laterítico, se optó por el uso de probetas cilíndricas con dimensiones de 10 cm x 20 cm, tal como se muestra en la Figura 8, la muestra empleada para esta investigación consta de 27 cuerpos cilíndricos, los cuales fueron desencontrados después de 24 horas del vaciado, seguidamente se sumergieron en piscinas con agua, donde permanecieron inmersos hasta las fechas de ruptura, en intervalos de 7, 14 y 28 días después de su fabricación. Para la elaboración de este hormigón se tomó como rango de asentamiento 8 ± 2 cm.



Figura 8. Ensayo a compresión en cilindros de hormigón laterítico.

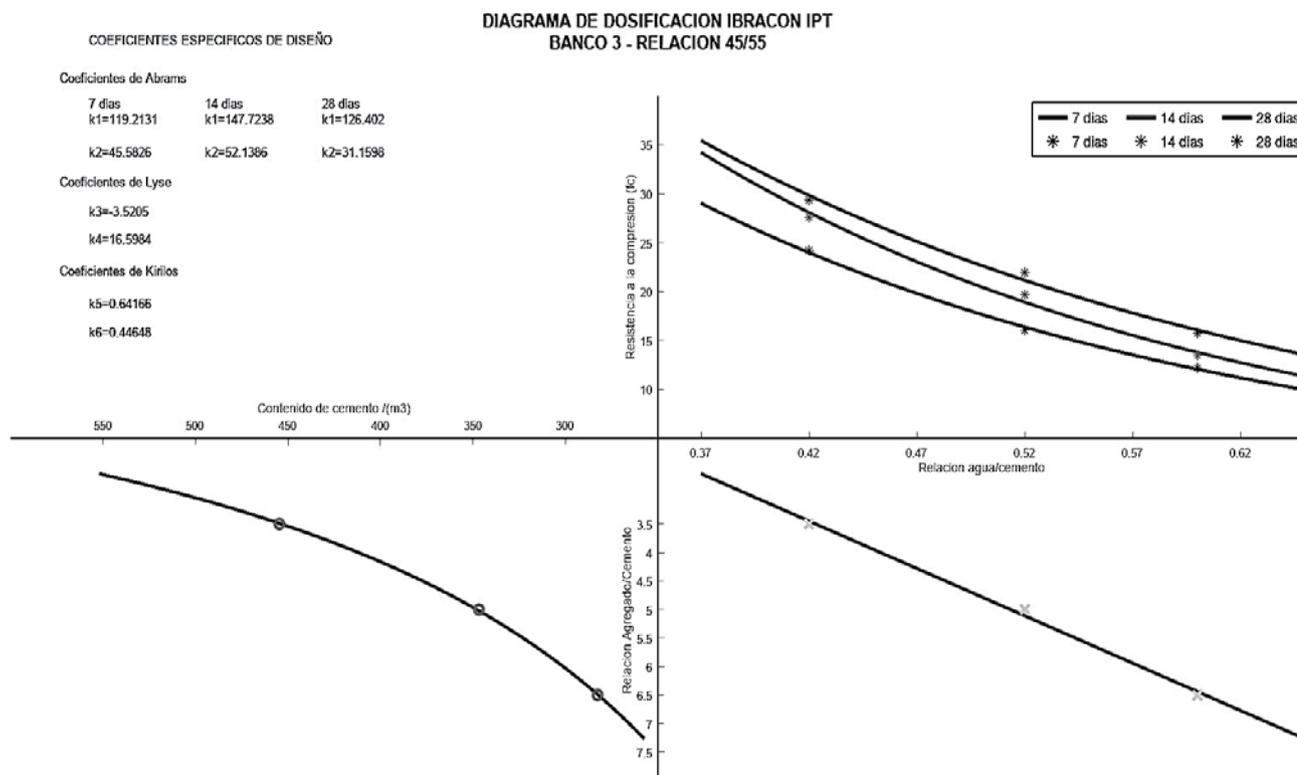


Figura 9. Diagrama de dosificación IPT – Banco 3 (combinación arena/grava- 45/55).

Diagrama IPT

Con base a las leyes teóricas de aplicación en hormigones, se obtuvo el diagrama de dosificación IPT de hormigones lateríticos, el mismo que se detalla en la Figura 9. Con los datos de las resistencias a compresión a los 7, 14 y 28 días, la relación agua/cemento, combinación de agregados y cantidad de cemento por metro cubico empleado (tomando como dato base las densidades de las mezclas obtenidas *in situ* al momento de realizar el vaciado de los cilindros).

Resultados obtenidos a compresión

La Tabla 8 detalla los resultados a compresión obtenidos a los 7, 14 y 28 días, así como la línea de tendencia según el trazo utilizado (Figura 10), donde el trazo 1:3.5 presenta el punto más alto y el trazo 1:6.5 el punto más bajo de la resistencia, presentaron un consumo de cemento por metro cubico igual a (Tabla 9):

Tabla 8

Resistencia a compresión obtenida a los 7, 14 y 28 días de edad

Combinación De Agregados Arena-Grava	Edad (Días)	Trazo	Promedio Resistencia (MPa)
45%-55%	7	1:3,5	24,183
		1:5,0	16,033
		1:6,5	12,187
	14	1:3,5	27,580
		1:5,0	19,667
		1:6,5	13,477
	28	1:3,5	29,337
		1:5,0	21,923
		1:6,5	15,733

Tabla 9

Relación agua/cemento y cantidad de cemento calculado

Número de banco	Relación a/c	Cantidad de cemento/m ³
B3 (45/55)	0,42	454,64
	0,52	346,76
	0,60	282,58

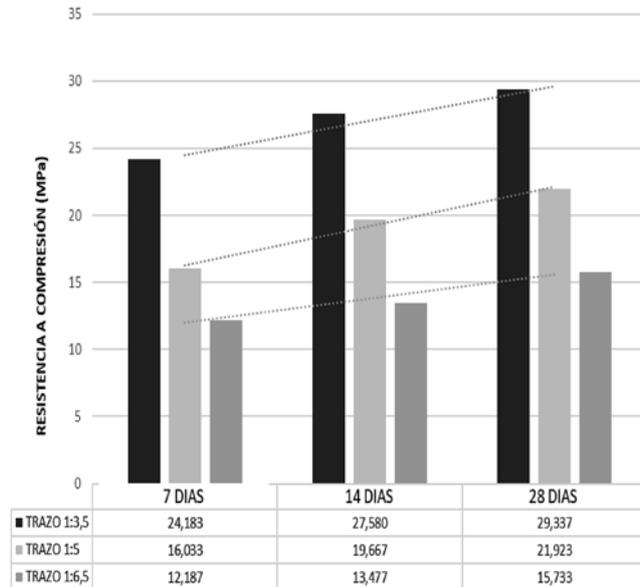


Figura 10. Comparación de la resistencia a compresión a los 7,14 y 28 días.

4. Conclusiones

- Este estudio ha demostrado que aplicar el método de dosificación experimental IBRACON IPT en hormigones trabajados con agregados lateríticos provenientes Riberalta (Beni), dio como resultado un proceso práctico, eficaz, con un proceso de elaboración de muestras sencilla y adecuado a las condiciones de diseño que se tenían planteadas inicialmente, lo que resultó como óptimo, este le otorga importancia práctica para su aplicación en proyectos.
- Se logró demostrar que, al variar los trazos de dosificación, las resistencias a compresión presentan cambios considerables, mientras el trazo sea pobre las resistencias serán superiores y viceversa.
- Uno de los hallazgos más importantes encontrados en este estudio es el control que se tuvo con los datos de a/c, combinación de agregados a través de la determinación de la cantidad de mortero seco (α), permitiendo el control sobre los cuerpos de prueba, donde se obtuvieron probetas con una mínima cantidad de cangrejeras y sin presencia de fisuras.
- Comparando con los materiales convencionales, el material laterítico presenta un mayor

porcentaje de absorción (6 -13%), lo cual no fue inconveniente para su aplicación mediante la dosificación experimental aplicada en laboratorio.

- Este proyecto se llevó a cabo para diseñar y evaluar las propiedades mecánicas del hormigón utilizando grava laterítica, donde se obtuvo resultados a compresión de 29,337 MPa a los 28 días siendo este superior a los 21 MPa (resistencia mínima para hormigones), superando las expectativas al tratarse de un material arcilloso. Estos resultados están limitados para el uso en hormigones con material laterítico.
- Estos resultados podrían no ser aplicables para los hormigones con agregados pétreos, sin embargo se puede aplicar el método IBRACON como dosificación con los materiales granulares existentes en los 9 departamentos de Bolivia, sin presentar problema con el tipo de cemento a usar, ya que este método se ajusta a las condiciones de diseño que se le presenta por regiones.
- Los métodos utilizados permitirán que el material laterítico pueda aplicarse a trabajos de construcción vial o estructural en el oriente boliviano, ya que se demostró que cumple con los criterios mínimos requeridos para hormigones estructurales según normas ASTM.
- Esta investigación servirá como base para futuros estudios en Bolivia, buscando siempre ampliar el conocimiento, sin olvidar el correcto aprovechamiento de materiales producidos por los suelos bolivianos a un costo reducido, evitando el sobre costo y la contaminación innecesaria por el transporte de materiales interdepartamentales.

5. Referencias bibliográficas

- American Society for Testing and Materials. (2017). *ASTM C127: Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate. USA.*
- American Society for Testing and Materials. (2017). *ASTM C128: Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate. USA.*

- American Society for Testing and Materials. (2017). *ASTM C29: Standard Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate. USA.*
- American Society for Testing and Materials. (2018). *ASTM C136: Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates. USA.*
- American Society for Testing and Materials. (2018). *ASTM C39: Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens. USA.*
- American Society for Testing and Materials. (2020). *ASTM C131: Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine. USA.*
- Borges Pompeu Neto, B. (1976). *Um estudo sobre as propriedades de resistencia mecanica de Concreto laterítico.* Estado da Paratba - Brasil: Universidade Federal da Paratba centro de ciencias e tecnologia - CCT.
- Campos Martins, E. A. (1990). *Estudo comparativo entre concretos de cimento portland pozolânico fabricados com agregados graúdos convencionais e não convencionais.* Campina Grande - PB: Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciencias e Tecnologia.
- Caviedes, J. L. (s.f.). En *Tecnología del concreto* (págs. 337 - 349).
- Filho, M. B. (2005). *Estudo de agregados lateríticos para utilizacao em concretos estruturais.* Campina Grande: Universidade Federal de Campina Grande Centro de Ciencias e Tecnologia.
- Gonçalves Duarte Mendonça, A. M., Costa de Souza, L. M., Coutinho Lira, Y., Ferreira de Sousa Neto, V., Bezerra Luz, T. E., Gonçalves Luz Nunes, C., . . . Lacerda Diniz, M. I. (2021). Uso de agregado laterítico na produção do concreto: avaliação da resistência. *Brazilian Journal of Development*, 1-11.
- Helene, P., & Terzian, P. (1992). *Manual de dosagem e controle do concreto.* Sao Paulo: PINI.ISBN: 85-7266-007-0.
- Queiroz de Carvalho, J., Martinez, G., & Flores, J. (2005). Chemical and mineralogical properties of residual tropical soils and their relationships with selected geotechnical properties. En *Advanced experimental unsaturated soil mechanics* (pág. 425). Trento- Italia: Prensa CRC.
- Rodrigues Pantoja Junior, A., & de Souza Picanço, M. (2020). Concreto produzido com agregado graúdo laterítico em santarém, pará. *REEC-Revista electronica de engenharia civil*, 1-18.
- Tutikian, B., & Helene, P. (2011). Dosagem dos concretos de cimento Portland. En *Concreto: Ciencia e Tecnologia* (pág. Capítulo 12). Sao Paulo : IBRACON .
- Yoc Juárez, E. (2007). *Evaluación de concretos elaborados de acuerdo a los Métodos de diseño "Vitervo O'Reilly y práctica estándar de selección de Proporciones de concreto de masa normal y pesada (ACI 211.1)".* Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.