







**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA  
"JUAN MISAEL SARACHO"**



**FACULTAD DE CIENCIAS Y  
TECNOLOGÍA**

# **CIENCIA SUR**

**Vol. 3 N° 4 Junio 2017**

**ISSN 2518 - 4792**



**Revista Facultativa de  
Divulgación Científica**

**TARIJA - BOLIVIA**





## Revista Facultativa de Divulgación Científica

# CONSEJO EDITORIAL



M. Sc. Ing. Ernesto Álvarez Gozalvez  
Decano Facultad de Ciencias y Tecnología

M. Sc. Ing. Henry Monzon De los Rios  
Docente Dpto. de Hidráulica y Obras Sanitarias

M. Sc. Ing. René Michel Cortes  
Director Dpto. de Procesos Industriales Biotecnológicos y Ambientales

Dr. Ing. Alberto Benitez Reynoso  
Docente Dpto. Estructuras y Ciencias de los Materiales

Arq. Jessica Baldivieso Alarcon  
Docente Dpto. de Arquitectura y Urbanismo

**Editor: M. Sc. Ing. Silvana Sandra Paz Ramírez**  
Vicedecana de la Facultad de Ciencias y Tecnología  
Universidad Autónoma Juan Misael Saracho  
[cienciasur@uajms.edu.bo](mailto:cienciasur@uajms.edu.bo)

# **UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO**

## **CIENCIA SUR**

Revista Facultativa de Divulgación Científica  
Junio, 2017

M.Sc. Lic. Javier Blades Pacheco  
**RECTOR SUBROGANTE**

Dr. Carlos Kuncar Justiniano  
**VICERRRECTOR**

### **AUTORIDADES FACULTATIVAS:**

M.Sc. Ing. Ernesto Álvarez Gozalvez  
**Decano de la Facultad de Ciencias y Tecnología**

M.Sc. Ing. Silvana Paz Ramirez  
**Vicedecana de la Facultad de Ciencias y Tecnología**

### **Edición**

Facultad de Ciencias y Tecnología

### **Editor**

M.Sc. Ing. Silvana Sandra Paz Ramírez  
Correo Electrónico: [cienciasur@uajms.edu.bo](mailto:cienciasur@uajms.edu.bo)

### **Reservados todos los derechos**

Esta revista no podrá ser reproducida en forma alguna, total y parcialmente, sin la autorización de los editores.  
El contenido de esta revista es responsabilidad de los autores.

**Diseño y Diagramación:** Teófilo Copa Fernández

### **Impresión:**

Publicación financiada por el proyecto **“Fortalecimiento de la Difusión y Publicación de Revistas Científicas en la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho”**

# PRESENTACIÓN

La Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho” a través de la revista Ciencia-Sur, dependiente del Decanato de la Facultad, ha venido realizando, de manera sostenida, publicaciones sobre temas de investigación aplicada y reflexión académica, con el propósito de motivar a nuestros docentes y estudiantes a generar investigación y contribuir a su difusión.

Las expectativas para obtener resultados que nos proyecten hacia un desarrollo sustentable, como individuos y sociedad, descansan definitivamente en la práctica del conocimiento, de manera que aprovechando las herramientas que nos proporciona la investigación y sus medios de difusión, se puede crear un vínculo equivalente al conocimiento, entre ciencia y tecnología, que sirva para cimentar la cultura de la investigación.

En esta cuarta edición presentamos temas especializados referentes a las áreas de Ingeniería Civil, Ingeniería Química y Arquitectura, con ello pretendemos dar a conocer a nuestros lectores (centros de investigación, docentes, universitarios y población en general), el nivel y categoría de los trabajos de investigación que se desarrollan en nuestra Facultad. En este contexto en la presente edición se describen como lo más relevante, trabajos referentes a: Comparación de resultados entre distintos métodos para la estimación del módulo resiliente en suelos. Activación química de carbón de leña de quebracho colorado de Villamontes. Alternativas de diseño arquitectónico en tierra, para los pisos ecológicos de Tarija y un tema de reflexión sobre las ingenierías en el Siglo XXI.

Con este nuevo número, hacemos nuevamente extensiva nuestra invitación a todos los docentes, universitarios e investigadores de la Facultad, a continuar apoyando a la difusión del conocimiento a través de la investigación, así mismo convocamos a continuar y/o iniciar nuevas investigaciones con el propósito de incentivar el desarrollo y solventar una cultura de difusión sobre las investigaciones en nuestra Universidad.

Ernesto R. Álvarez Gozalvez  
**DECANO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA**



# CONTENIDO

Pág.

Activación química de carbón de leña de Quebracho Colorado de Villamontes  
**Arduz Mendieta Pablo**

I

Comparación de resultados entre deflectometría y ensayos de CBR, relativos a la estimación del módulo resiliente  
**Soto Salgado Laura - Soruco Paravicini Katerine**

10

Penetrometro en miniatura para la medición de contenido de agua en suelo cohesivo  
**Echalar Flores Michael Willy**

20

Alternativas de diseño arquitectónico en tierra para los pisos ecológicos de Tarija.  
**Baldivieso Alarcón Giovanna**

27

Tipología de un modelo de vivienda tipo residencial convencional en la ciudad de Tarija – año 2013  
**Colodro Mendivil Fernando Ivar**

47

**Normas de publicación**

58





# **ARTÍCULOS CIENTÍFICOS**



## ACTIVACIÓN QUÍMICA DE CARBÓN DE LEÑA DE QUEBRACHO COLORADO DE VILLAMONTES

ARDUZ MENDIETA PABLO <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Investigador Junior – Departamento de Procesos Industriales Biotecnológicos y Medio Ambientales – Carrera de Ingeniería Química. Facultad de Ciencias y Tecnología – Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”

Correo electrónico: pabloarzmen@gmail.com

### RESUMEN

El objetivo de la investigación es el determinar el mejor y más eficiente método de activación química de bajo coste de carbón de leña comercial de Quebracho Colorado de Villamontes, debido a que este carbón es el más abundante y accesible de la región con el que cualquier persona pueda obtener carbón activado con reactivos como el Ácido Fosfórico y el Cloruro de Calcio que son de bajo coste y accesibilidad.

El carbón activado es un carbón altamente poroso que tiene la característica de retener en su interior moléculas de contaminantes. Normalmente es utilizado como filtro adsorbedor de olores y contaminantes para purificar el agua y el aire.

La activación química activa a los carbones con reactivos deshidratantes, como el Ácido Fosfórico y el Cloruro de Calcio, a temperaturas elevadas.

Para el proceso de investigación se molió la materia prima a un tamaño de partícula menor a 0,125 mm, luego se procedió a la impregnación con el reactivo precursor y se procedió a activar a una de las temperaturas seleccionadas (400°C, 600°C u 800°C). De acuerdo a los resultados obtenidos en los análisis de Azul de Metileno y Número de Iodo, el mejor procedimiento de activación química es la Activación con Ácido Fosfórico a una proporción de Carbón/

Reactivo de 1/2 a una temperatura de 600°C, siendo este método de activación óptimo para producir carbón activado de forma artesanal con propiedades de adsorción comparables con un carbón activado comercial.

### PALABRAS CLAVE

Carbón, Activación Química, Carbón de Leña, Activado, Quebracho Colorado, Accesibilidad.

### ABSTRACT

The objective of this research is to determine the best and most efficient low cost chemical activation method of charcoal from Quebracho Colorado from Villamontes, because this coal is the most abundant and accessible in the region for anyone could obtain activated carbon with reagents such as Phosphoric Acid and Calcium Chloride that are low cost and accessible. Activated charcoal is a highly porous charcoal that has the characteristic of retaining in its interior molecules of contaminants. It is normally used as an adsorber filter for odors and contaminants to purify water and air. Active chemical activation of coals with dehydrating reagents, such as phosphoric acid and calcium chloride, at elevated temperatures. For the research process, the raw material was ground to a particle size of less than 0.125 mm, then the impregnation was carried out with the precursor reagent and activated at one

of the selected temperatures (400 ° C, 600 ° C or 800 ° C). According to the results obtained in the analyzes of Methylene Blue and Iodine Number, the best chemical activation procedure is Activation with Phosphoric Acid at a ratio of Coal / Reagent of 1/2 at a temperature of 600 ° C, being This method of optimum activation to produce artistically activated carbon with adsorption properties comparable with a commercial activated carbon.

## KEYWORDS

Charcoal, Chemical Activation, Charcoal, Activated, Quebracho Colorado, Accesibility.

## INTRODUCCIÓN

El Carbono es el sexto elemento de la tabla periódica, con una masa atómica de 12 uma y símbolo C, este elemento es el cuarto más abundante en el universo. El carbono es la base de la química orgánica, es el elemento que forma más compuestos, aproximadamente 16 millones de compuestos con un aumento de 500000 compuestos por año. El carbono tiene 7 formas alotrópicas de las cuales las principales son el grafito, el diamante y el fullereno. (Menéndez-Díaz, 2006)

Se puede definir que un carbón activado es aquel material de origen biológico que se prepara artificialmente mediante procesos específicos, con los que se pretende dotarlo de una determinada estructura porosa. La característica más importante, de estos materiales es su elevada capacidad adsorbente, basada esencialmente en una estructura porosa muy desarrollada.

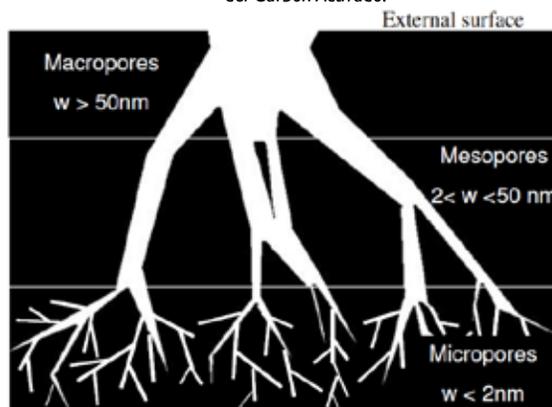
Las propiedades de cada carbón activo dependen en gran medida del material biológico de partida, ya que éste determina de forma esencial las características estructurales del carbón

resultante. Lo que se hace en la preparación de carbones activos es abrir poros, pero respetando la estructura original del material de partida (Martínez).

La porosidad es la principal propiedad física que caracteriza al carbón activado; esta propiedad está en función de los diferentes poros y de acuerdo a su distribución. De acuerdo a la IUPAC los poros se clasifican en tres grupos:

- Macroporos con un tamaño de poro mayor a los 50 nm.
- Mesoporos con un tamaño de poro entre 2 a 50 nm.
- Microporos con un tamaño de poro menor a los 2 nm.

FIGURA I: Representación de la Red de Poros del Carbón Activado.



Fuente: J.A. Menéndez (2006)

El carbón activado se obtiene mediante procesos de carbonización y activación de la materia prima.

Mediante el proceso de carbonización se consigue obtener un carbón de baja superficie específica, debido a que en este proceso lo que se hace es eliminar elementos como oxígeno e hidrógeno, por descomposición del material de partida en atmósfera inerte (de nitrógeno, usualmente), resultado de ello es un material formado por uniones de microcristales grafiticos elementales,

usualmente taponados por alquitranes y residuos de carbonización, lo que disminuye notablemente la capacidad adsorbente.

La activación física es el resultado de la gasificación del material carbonizado a temperaturas elevadas. En la carbonización se eliminan elementos como el hidrógeno y el oxígeno del precursor para dar lugar a un esqueleto carbonoso con una estructura porosa rudimentaria. Durante la gasificación el carbonizado se expone a una atmósfera oxidante (vapor de agua, dióxido de carbono, o mezcla ambos) que elimina los productos volátiles y átomos de carbono, aumentando el volumen de poros y el área específica (Donacio Luna, 2007).

La activación química es generada por reacciones de deshidratación química, que tienen lugar a temperaturas mucho más bajas. En este proceso el material a base de carbón se impregna con un agente químico como el ácido fosfórico, cloruro de zinc o el hidróxido de potasio, y el material impregnado se calienta en un horno a 500–700 °C. Los agentes químicos utilizados reducen la formación de materia volátil y alquitranes. El carbón resultante se lava para eliminar los restos del agente químico usado (Donacio Luna, 2007).

Un carbón activado es estructuralmente un material carbonoso no grafitico, casi cualquier material sólido carbonoso se puede convertir en carbón activado. Hay, por lo tanto, una variedad de posibles materias primas tales como madera, biomasa lignocelulósica, turba, lignito y carbón de leña que se pueden utilizar para hacer carbón activado. Sin embargo, hay algunas limitaciones, dado que el carbón activado es desordenado e isotrópico, la materia prima en el momento de carbonización y activación no debe pasar a través de un estado fluido o pseudofluido debido

al hecho de que la estructura sólida tiende a transformarse en una estructura ordenada.

Las propiedades resultantes del producto dependen del precursor, y, en consecuencia, los carbonos se pueden adaptar para aplicaciones seleccionadas. Además, las propiedades de carbón activado resultante, también están influenciadas en gran medida por el tratamiento de activación. La selección de la materia prima adecuada se basa en los siguientes criterios (Rodríguez-Reinoso, 1997):

Posibilidad de producir un carbón activado bueno en términos de capacidad de adsorción, de alta densidad y dureza.

Baja materia inorgánica. La capacidad de absorción se mide por unidad de masa, y puesto que los materiales inorgánicos no son porosos, su presencia reduce la capacidad de adsorción.

Disponibilidad y costo. Al igual que con cualquier otro producto, el precio de la materia prima afecta el costo final, por lo que una alta disponibilidad es importante para asegurar la estabilidad de precios. También debe tenerse en cuenta que hay una considerable pérdida de masa en todos los tratamientos de activación, y mientras menor sea el rendimiento del producto, mayor será el costo. Los rendimientos de los productos pueden variar considerablemente, y pueden ser tan bajo como 5 a 10% de carbonos a base de madera.

Para el presente proyecto se utilizará carbón de leña de Quebracho Colorado producido en el departamento de Tarija, el cual, según datos de la ABT de Tarija, es la principal materia prima del carbón de leña comercial, el cual se produce aproximadamente unas 2380 toneladas al año en el departamento (Dato de la gestión 2014).

## **MATERIALES Y MÉTODOS.**

Se utilizó el Carbón de Leña de Quebracho Colorado de Villamontes como materia prima, como precursores se utilizaron el Ácido Fosfórico al 85% de grado técnico-alimenticio y el Cloruro de Calcio Anhidro con una pureza estimada del 99%

La metodología seguida para el proceso fue:

- **MOLIENDA Y TAMIZADO.**

La materia prima se redujo en tamaño con un martillo común hasta obtener pedazos pequeños de carbón, los cuales posteriormente fueron molidos en un molino de rodillos perteneciente al Laboratorio de Operaciones Unitarias (L.O.U.) de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (U.A.J.M.S), hasta alcanzar la granulometría deseada de tamaño de partícula menor a 0,063 mm.

Para obtener un alto rendimiento del uso de la materia prima se combinaba la molienda con el tamizado, separando las partículas grandes de las pequeñas de carbón para poder molerlas hasta el tamaño requerido y así obtener la muestra de una granulometría homogénea.

El tamizado fue realizado con una zaranda o tamiz perteneciente al L.O.U. de la U.A.J.M.S., el cual fue usado para verificar que la totalidad de la muestra se encuentre en un tamaño de partícula inferior a 0.063mm.

- **ANÁLISIS DE LA HUMEDAD DE LA MATERIA PRIMA.**

El análisis de humedad de la materia prima fue realizado en una balanza de humedad y secador de infrarrojos de marca Sartorius en la cual se

pesó una muestra de 6 g. y se la secó a 105 °C hasta peso constante.

- **DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE IODO DE LA MATERIA PRIMA.**

La determinación del número de Iodo de la materia prima se realizó para conocer la capacidad de adsorción del carbón de leña de quebracho colorado de Villamontes, siendo este análisis un parámetro comercial de calidad de carbones activados.

El procedimiento del análisis se realizó de acuerdo a la norma AWWA B 600-78 de la American Water Works Association y su equivalente la norma ASTM D4607-94.

- **DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE AZUL DE METILENO DE LA MATERIA PRIMA.**

El análisis de azul de metileno sirve para determinar la capacidad de adsorción de los carbones activados con moléculas de similares dimensiones del azul de metileno. El método de análisis del número azul de metileno se realizó de acuerdo a los procedimientos establecidos por el compendio de métodos de test para el carbón activado del concilio europeo de federaciones de manufactureros químicos (Concilio Europeo de Manufactureros Químicos, 1986) y la norma técnica colombiana NTC-4467.

- **IMPREGNACIÓN DE LA MATERIA PRIMA.**

La impregnación es la etapa del proceso de obtención de carbón activado en la cual la materia prima se junta y/o mezcla con el reactivo o precursor activante. En el caso del presente proyecto se utilizó como activantes el ácido fosfórico y el cloruro de calcio, para cada uno de

los cuales se realizaron los siguientes procesos:

#### a) Impregnación con Ácido Fosfórico

- En cada uno de los tres crisoles utilizados se agregó 17 gr de carbón de leña de Quebracho Colorado de Villamontes.
- A cada uno de los crisoles con carbón se colocó respectivamente 20; 30 y 40 gr de Ácido Fosfórico al 85%.
- Se agitó suavemente las mezclas de carbón con ácido hasta que las mezclas sean homogéneas.
- Se colocaron los crisoles en una estufa a 110°C durante 6 horas.

#### b) Impregnación con Cloruro de Calcio.

- Se utilizaron tres crisoles a los cuales se colocó 17 gr de carbón de leña de Quebracho Colorado de Villamontes.
- A cada uno de los crisoles con carbón se agregó respectivamente 17; 25,5 y 34 gr de Cloruro de Calcio Anhidro.
- Luego se puso a cada crisol 40 gr de agua para crear una solución de la mezcla.
- Se agitó suavemente las mezclas hasta que las mezclas sean homogéneas.
- Se colocaron los crisoles en una estufa a 110°C durante 6 horas.

### ACTIVACIÓN QUÍMICA.

Luego del proceso de impregnación viene la etapa más importante que es la activación química. El procedimiento de la activación es el siguiente:

- Introducir los crisoles con las muestras impregnadas dentro de la mufla a utilizar.

- Programar la mufla a la temperatura requerida y seleccionada. Para la presente investigación se realizó la activación química a tres diferentes temperaturas, las cuales son 400° C, 600° C y 800° C.
- Iniciar el calentamiento de la mufla y dejarla operar 24 horas.
- Pasadas las 24 horas de operación apagar la mufla y dejar enfriar lentamente hasta que sea seguro retirar las muestras.
- Una vez retiradas las muestras de la mufla, se procede a pesarlas.
- **DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE IODO DEL PRODUCTO OBTENIDO.**

Al igual que la materia prima el procedimiento del análisis del número de Iodo del producto obtenido se realizó de acuerdo a las normas de la American Water Works Association AWWA B 600-78, Concilio Europeo de Manufactores Químicos, 1986 y la norma ASTM D4607-94, donde una solución de Iodo 0.1 N se filtra en una masa determinada de carbón activado y luego se titula con tiosulfato de Sodio 0.1N para conocer la concentración residual de la solución filtrada.

- **DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE AZUL DE METILENO DEL PRODUCTO OBTENIDO.**

Del mismo modo que la materia prima los análisis para determinar adsorción del azul de metileno por el producto obtenido se realizó por el procedimiento explicado en las normas ya mencionadas.

## • COMPARACIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO OBTENIDO CON UNO COMERCIAL.

A un carbón activado comercial de marca CLARIMEX se le realizaron las pruebas de Número de Iodo y de Azul de Metileno para comparar los resultados con el del carbón activado obtenido por el proceso.

### RESULTADOS.

#### Humedad de la materia prima.

La humedad de la materia prima fue analizada con una balanza de humedad y/o secador de infrarrojos de marca Sartorius, para ello se analizó 6 muestras de carbón de leña de Quebracho Colorado de Villamontes pulverizado, las cuales fueron muestreadas del carbón a utilizar para cada lote de carbones que entraron a la mufla. Los resultados obtenidos se presentan en la siguiente tabla:

**TABLA 1:** Resultados del Análisis de Humedad de la Materia Prima.

Número de Muestra	Humedad [%]
1	3.68
2	3.83
3	4.48
4	3.54
5	4.26
6	4.42

FUENTE: Elaboración Propia. 2016

Donde el promedio (media aritmética) de los datos de humedades de 4.035%, por lo tanto, se considera ese valor como el de la humedad de la materia prima.

#### Resultados de la prueba de Número de Iodo.

La prueba de Número de Iodo se define como la masa en miligramos de Iodo atómico que se adsorbe por gramo de carbón cuando la concentración de la solución residual de Iodo filtrada por el carbón es igual a 0.02 N.

Los resultados obtenidos en esta prueba para el carbón de leña de Quebracho Colorado de Villamontes, los carbones activados obtenidos en el proceso de investigación y el carbón activado comercial se dan en las siguientes tablas:

**TABLA 2:** Número de Iodo de la Materia Prima.

$m_c$	Número de Iodo
6 gr	146.2784

FUENTE: Elaboración Propia. 2016

**TABLA 3:** Número de Iodo de los Carbones Activados obtenidos a diferentes condiciones.

Temperatura de Activación	Reactivo	Proporción de Reactivo	Número de Iodo
400°C	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1/1	378.770
		1/1,5	408.499
		1/2	399.473
600°C	CaCl <sub>2</sub>	1/1	212.239
		1/1,5	223.998
		1/2	252.624
600°C	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1/1	444.687
		1/1,5	477.424
		1/2	423.760

FUENTE: Elaboración Propia. 2016

**TABLA 4:** Número de Iodo del Carbón Activado Comercial marca CLARIMEX.

$m_c$	Número de Iodo
1.776	708.887

FUENTE: Elaboración Propia. 2016

## Resultados de la prueba de adsorción de azul de metileno.

En la prueba de azul de metileno se determinó la cantidad decolorada de la solución por 0.1 gramos de carbón; la prueba se realizó a cada uno y a todos los diferentes carbones. El valor del número de azul metileno es igual al volumen de la solución de azul de metileno que fue decolorado por gramo de carbón activado.

Los resultados obtenidos en esta prueba para el carbón de leña de Quebracho Colorado de Villamontes, los carbones activados obtenidos en el proceso de investigación y el carbón activado comercial se dan en las siguientes tablas:

**TABLA 5:** Número de Azul de Metileno de la Materia Prima.

Masa de Carbón (gr.)	Volumen Utilizado (ml)	Número de Azul de Metileno
0.1	2	20

FUENTE: *Elaboración Propia. 2016*

**TABLA 6:** Número de Azul de Metileno de los Carbones Activados obtenidos a diferentes condiciones.

N° Muestra	Temp. De Activación	Reactivo	Proporción Carbón/Reactivo	Número de Azul de Metileno
1	400°C	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1/1	70
2			1/1,5	86.667
3			1/2	75
4		CaCl <sub>2</sub>	1/1	48.333
5			1/1,5	56.667
6			1/2	63.333
7	600°C	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1/1	81.667
8			1/1,5	111.667
9			1/2	96.667

FUENTE: *Elaboración Propia. 2016*

**TABLA 6:** Número de Azul de Metileno del Carbón Activado Comercial marca CLARIMEX.

Masa de Carbón (gr.)	Volumen Utilizado (ml)	Número de Azul de Metileno
0.1	14	140

FUENTE: *Elaboración Propia. 2016*

## Rendimientos y eficiencias de adsorción de los carbones activados obtenidos.

Las eficiencias y rendimientos obtenidos de cada uno de los métodos de activación química deben ser analizados para poder determinar cuál de los diferentes métodos es el mejor.

El rendimiento en masa no es el único parámetro comparativo y éste en sí no es importante y determinante a la hora de seleccionar el método más eficiente, para ello se determina la eficiencia de adsorción del azul de metileno y el número de Iodo, los cuales indican cuanto mejoraron la calidad en estos parámetros los diferentes métodos de activación química estudiados, tomando como parámetro inicial los valores de adsorción de azul de metileno y número de Iodo de la materia prima.

El rendimiento en masa de los diferentes carbones activados obtenidos se define como la relación entre la masa del producto obtenido y la masa de la materia prima utilizada, por lo tanto, el porcentaje del rendimiento en masa es igual a:

$$\eta_{masa} = \frac{m_{\text{Carbón Activado}}}{m_{\text{Materia Prima}}} \times 100\%$$

La eficiencia del Número de Iodo se define como la relación entre el Número de Iodo del Carbón Activado Obtenido y el Número de Iodo de la materia prima, el porcentaje de la eficiencia del número de Iodo es igual a:

$$\eta_{Iodo} = \frac{I_{\text{Carbón Activado}}}{I_{\text{Materia Prima}}} \times 100\%$$

La eficiencia del Número de Azul de Metileno es definida como la relación del Número de azul de metileno del carbón activado entre el número de azul de metileno de la materia prima. El porcentaje de la eficiencia del número de azul de metileno es

igual a:

$$\eta_{ADM} = \frac{A_{N_{\text{Carbón Activado}}}}{A_{N_{\text{Materia Prima}}}} \times 100\%$$

En la siguiente tabla se pueden apreciar los valores de las eficiencias de los números de Iodo, Azul de Metileno, además del valor del rendimiento en peso de todos los tratamientos de activación química que se realizaron. Las eficiencias y el rendimiento fueron obtenidos con los valores promedio del Número de Iodo, Número de Azul de Metileno y las diferentes masas obtenidas.

**Tabla 8:** Rendimiento y Eficiencias del Carbón Activado.

N° de Muestra	Temp. De Activación	Reactivo	Proporción. M.P./R	Rendimiento en masa	$\eta_i$	$\eta_{ADM}$
1	400°C	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1/1	91.683 %	258.938 %	350 %
2			1/1,5	96.636 %	279.262 %	433.335 %
3			1/2	98.865 %	273.092 %	375 %
4	400°C	CaCl <sub>2</sub>	1/1	69.720 %	145.093 %	241.665 %
5			1/1,5	66.670 %	153.132 %	283.335 %
6			1/2	63.148 %	172.701 %	316.665 %
7	600°C	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1/1	81.052 %	304.001 %	408.335 %
8			1/1,5	84.063 %	326.381 %	558.335 %
9			1/2	90.609 %	289.695 %	335. %

FUENTE: *Elaboración Propia. 2016*

De acuerdo a los resultados obtenidos el mejor carbón activado que se obtuvo es el que fue activado con Ácido Fosfórico a una temperatura de activación de 600 °C y una relación másica de materia prima/reactivo de 1/1.5.

### Comparación del mejor carbón activado con uno comercial.

En la siguiente tabla se puede comparar las propiedades y características del carbón activado comercial de marca CLARIMEX (el cual es usado en EMBOL S.A. de Tarija) y el carbón activo obtenido por activación química con ácido fosfórico a 600°C a una proporción de materia prima/reactivo de 1/1.5.

**Tabla 9:** Comparación entre Carbones Activados.

	Car. Act. CLARIMEX	Car. Activado con H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> a 600°C
Número de Iodo	708.887	477.424
Número de Azul de Metileno	140	111.167
Densidad	0.855	1.269

FUENTE: *Elaboración Propia. 2016*

La diferencia entre los carbones activos es notoria debido a que el carbón activado de marca CLARIMEX usa como materia prima el carbón de cáscara de coco, que es menos denso que el carbón de leña de quebracho colorado, y el proceso de activación es realizado bajo una atmósfera pobre en oxígeno. Mientras menos densa sea la materia prima, mejores resultados se obtendrá en términos de adsorción debido a que un carbón altamente poroso es menos denso que uno poco poroso.

El carbón activado obtenido de la leña de Quebracho Colorado obtuvo buenos resultados para ser activado en presencia de una atmósfera rica en oxígeno. De acuerdo a los resultados obtenidos, este carbón es viable para usarlo en diferentes aplicaciones.

### DISCUSIÓN.

Se obtuvo carbones activados a 400 °C con Ácido Fosfórico y a 400 °C con Cloruro de Calcio, solo se obtuvo carbón activado a 600 °C con Ácido Fosfórico.

No se obtuvo carbones activados a 800° C debido que a esa temperatura combustionó el carbón, además se observó que con cloruro de calcio a temperaturas mayores de 400°C combustionó e incluso reaccionó el carbón con el Cloruro de Calcio.

Mientras más baja la temperatura de activación con ácido fosfórico del carbón mejores

rendimientos en masa se obtiene; con el cloruro de calcio se obtuvieron los peores valores de rendimiento en masa debido a que la sal es un agente desecante que promueve la oxidación del carbón (combustión).

Los rendimientos o eficiencias en la capacidad de adsorción del carbón activado en base a la materia prima se vieron significativamente aumentadas a casi y más de tres veces a una temperatura de 600°C con ácido fosfórico, y la actividad en los mesoporos con moléculas del tamaño del azul de metileno se ve aumentada a más de cuatro veces de la capacidad del carbón de leña de Quebracho Colorado de Villamontes.

El presente trabajo sirve como referencia para seleccionar un método óptimo para obtener carbón activado a escala industrial, pero para ello se recomienda optimizar los procesos de activación e impregnación y realizar un estudio de los tiempos de duración de los mismos.

Para mejorar la calidad de los carbones activados se recomienda que el proceso de activación se realice en ausencia de oxígeno o a una atmósfera pobre del mismo para evitar la combustión de los mismos.

Es recomendable utilizar Ácido Fosfórico de grado técnico-alimenticio al 85% y no P.A., debido a que no es necesario un grado para análisis, y el costo del ácido fosfórico de grado técnico-alimenticio es menor al 10% del grado para análisis.

Se debe realizar un lavado exhaustivo del carbón activado con agua limpia hasta que el pH sea neutro y dejarlo secar al menos una hora a una temperatura de 105°C debido a que puede haber rastros del activante y de sales que se hayan formado del ácido.

Se debe guardar el carbón activo en un lugar protegido de la humedad y de malos olores debido a que el carbón activado se puede contaminar y disminuir sus capacidades de adsorción.

## BIBLIOGRAFÍA

Concilio Europeo de Manufactores Químicos. (1986). Test Methods For Activated Carbon. EFIC.

Donacio Luna, A. G. (2007). Obtención de Carbón Activado a partir de la cáscara de coco. México.

Martínez, J. M. (s.f.). Adsorción física de gases y vapores. Alicante, España: Universidad de Alicante.

Menéndez-Díaz, J. (2006). Types of carbon adsorbents and their production. En T. Bandosz, Activated carbon surfaces in environmental remediation (págs. 1-48). ELSEVIER.

Rodriguez-Reinoso, F. (1997). Introduction to carbon Technologies. Alicante, España: Publicaciones Universidad de Alicante.

## COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE DEFLECTOMETRÍA Y ENSAYOS DE CBR, RELATIVOS A LA ESTIMACIÓN DEL MÓDULO RESILIENTE

### Aplicación al tramo Túnel Falda de la Queñua – San Lorencito

SOTO SALGADO LAURA<sup>1</sup> SORUCO PARAVICINI KATERINE<sup>2</sup>

1: Docente investigadora, 2: Investigadora junior  
Dpto. de Topografía y Vías – Carrera de Ingeniería Civil – Facultad de Ciencias y Tecnología – UAJMS

Correo electrónico: laraksosal@gmail.com - katerinsoruco@gmail.com

### RESUMEN

El artículo recopila las diferentes metodologías para caracterizar la resistencia de la subrasante y la capacidad estructural efectiva de una estructura de pavimento.

Históricamente se ha utilizado el ensayo de valor soporte (CBR) para caracterizar la subrasante y con ello diseñar y valorar el paquete estructural. Este tipo de ensayo evalúa la calidad del suelo con base a su resistencia bajo condiciones de humedad y densidad controladas, y a través de correlaciones se determina el Módulo Resiliente.

Asimismo se analiza el comportamiento del sistema pavimento – subrasante del tramo Túnel Falda de la Queñua – San Lorencito.

Se plantea la obtención del Módulo Resiliente (MR) mediante el equipo no destructivo conocido como Viga Benkelman, para medir las deflexiones generadas en el pavimento a partir de la aplicación de una carga móvil que simula la aplicación de cargas cíclicas generadas por el paso de los vehículos, analizando la deflexión final en la subrasante. Estas deflexiones son analizadas e interpretadas a través de un modelo matemático para calificar y cuantificar el estado estructural del pavimento.

Al comparar los Módulos Resilientes obtenidos por ambas metodologías, se encontraron diferen-

cias entre uno y otro método. El análisis de estos resultados nos ayudará a determinar características de campo más reales para una posible aplicación en la evaluación de la estructura o bien para determinar el tipo de mantenimiento que se deba aplicar a la estructura ante la presencia de fallas.

### PALABRAS CLAVE

Módulo Resiliente, Suelo, Viga Benkelman.

### ABSTRACT

The article compiles the different methodologies to characterize the resistance of the subgrade and the effective structural capacity of a pavement structure.

Historically the support value test (CBR) has been used to characterize the subgrade and thereby design and value the structural package. This type of test evaluates soil quality based on its resistance under controlled humidity and density conditions, and through correlations the Resilient Module is determined.

The behavior of the pavement - subgrade system of the tunnel section Skirt of the Queñua - San Lorencito is also analyzed.

It is proposed to obtain the Resilient Module (MR) using non-destructive equipment known as Viga Benkelman, to measure the deflections

generated in the pavement from the application of a mobile load that simulates the application of cyclic loads generated by the passage of the Vehicles, analyzing the final deflection in the subgrade. These deflections are analyzed and interpreted through a mathematical model to qualify and quantify the structural condition of the pavement.

When comparing the Resilient Modules obtained by both methodologies, differences between the two methods were found. The analysis of these results will help us to determine more real field characteristics for a possible application in the evaluation of the structure or to determine the type of maintenance that must be applied to the structure in the presence of faults

## KEYWORDS

Resilient Module, soil, Benkelman Beam.

## INTRODUCCIÓN

Con la información de deflexiones obtenida se puede determinar, con fines de seguimiento, la capacidad estructural de un modelo estructural de pavimento en cualquier momento de su vida de servicio, y conocer su desempeño, así como establecer y cuantificar las necesidades de rehabilitación.

En la medida en que un pavimento complete su periodo de diseño, construcción y la necesidad de preservarlo, se incrementa la necesidad de evaluar la capacidad estructural del pavimento.

Ante esta situación y dada la complejidad y altos costos que implica la realización de los ensayos del Módulo Resiliente (MR), parámetro que representa el comportamiento de los materiales que conforman el pavimento ante la acción de cargas de tránsito a la que se ven sometidas, se

ha optado por obtener este parámetro a partir de correlaciones que determinan el Módulo Resiliente (MR) a través de ensayos de valor de soporte relativo (CBR) para caracterizar las capas del pavimento. No obstante, y con la finalidad de minimizar los tiempos requeridos e incrementar el número de mediciones, se propone la estimación del Módulo Resiliente (MR) a partir de ensayos no destructivos, los cuales se basan en la determinación de la capacidad estructural del pavimento mediante un análisis de deflectometría.

Con base a las deflexiones obtenidas es posible por medio de metodologías de retrocálculo determinar el Módulo Resiliente (MR) de las capas de la estructura de pavimento, minimizando de esta forma tiempo y costos, y reduciendo los procedimientos destructivos que impliquen la rotura de la vía y la extracción de muestras de campo.

Esta investigación busca mostrar metodologías mecánico - empíricas que permitan comparar los resultados obtenidos con los módulos determinados a partir de ensayos de laboratorio, analizando la relación entre ambas metodologías a partir de la influencia de diferentes factores como ser: el contenido de humedad de los materiales, la teoría de capas elásticas y la temperatura, que ayuden sustancialmente a la interpretación y manipulación de los datos recolectados.

## OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Mediante el presente proyecto de investigación se pretende lograr un análisis de deformaciones de los pavimentos mediante el estudio de comparar los resultados de valores de Módulos Resilientes obtenidos con la Viga Benkelman y los determinados con el valor de soporte CBR.

## Objetivo General.

Comparar del Módulo Resiliente (MR) obtenido a través de ensayos de laboratorio con los obtenidos mediante la Viga Benkelman, para establecer la correspondencia entre ellos, a través de las medir deflexiones.

## Objetivos Específicos.

- Evaluar el procedimiento de cálculo para la determinación del Módulo Resiliente a través de ensayos de laboratorio y mediante ensayos no destructivos.
- Determinar el Módulo Resiliente a partir del modelo matemático de Hogg Simplificado para cada uno de los puntos donde se realizó el ensayo con la Viga Benkelman.
- Realizar el ensayo de valor soporte CBR del suelo en laboratorio a través de muestras obtenidas de los diferentes bancos para caracterizar cada una de las capas que conforman el pavimento.
- Evaluar la determinación y el comportamiento resiliente de los materiales de las capas del pavimento en base a datos obtenidos por la Viga Benkelman y los obtenidos en laboratorio.

## CONSIDERACIONES FUNDAMENTALES

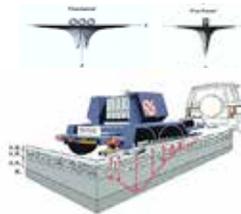
### CONCEPTO DE DEFLEXIÓN.

La deflexión de un pavimento se define como el valor que representa la respuesta estructural ante la aplicación de una carga vertical externa. También se define como el desplazamiento vertical del paquete estructural de un pavimento ante la aplicación de una carga; generalmente, la carga es

producida por el tránsito vehicular. (Salgado Torres, 2002.)

Cuando se aplica una carga en la superficie no solo se desplaza el punto bajo su aplicación, produciendo una deflexión máxima, sino que también se desplaza una zona alrededor del eje de aplicación de la carga, que se denomina cuenco de deflexión.

Figura 1: Esquema de un cuenco de deflexión



La deflexión permite ser correlacionada con la capacidad estructural de un pavimento, de manera que si la deflexión es alta en un modelo estructural, la capacidad estructural del modelo de pavimento es débil o deficiente, y lo contrario, si la deflexión es baja, quiere decir que el modelo estructural del pavimento tiene buena capacidad estructural.

### MODELO DE HOGG.

En 1944, A. H. A. Hogg presentó la solución matemática del modelo que lleva su nombre. El modelo de Hogg está basado en un sistema hipotético de dos capas: una delgada, con cierta rigidez a la flexión y horizontalmente infinita, y otra elástica, homogénea e isotrópica, de espesor que puede ser infinito o limitado por una base rígida, horizontal y perfectamente rugosa, que le sirve de sustento.

Deflexiones en el modelo de Hogg. El procedimiento con el modelo de Hogg usa la deflexión en el centro de la carga puntual y una de las deflexiones adicionales fuera del punto inicial de

aplicación de la carga. Hogg demostró que la distancia radial donde la deflexión es aproximadamente la mitad de la deflexión bajo el punto inicial de carga era eficaz para eliminar la tendencia de valoración o error estadístico de los parámetros básicos del modelo. Sus cálculos consideran variaciones en el espesor del pavimento y la relación entre la rigidez del pavimento y la rigidez de la subrasante, ya que la distancia en donde la deflexión es la mitad de la desviación máxima está controlada por estos parámetros. Tal como se describe, en 1944 Hogg presentó el análisis de una losa de espesor delgado apoyada sobre una fundación elástica de espesor finito o infinito.

## **DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL CBR**

El CBR es un ensayo para evaluar la calidad de un material de suelo con base a su resistencia, mediada a través de un ensayo de placa a escala.

CBR significa en español Relación de Soporte California, por las siglas en inglés de “California Bearing Ratio”, aunque en algunos países se conoce también este ensayo como Valor Relativo del Soporte (VRS).

La finalidad de este ensayo CBR, es determinar la capacidad de soporte de suelos y agregados compactados en laboratorio, con una humedad óptima y niveles de compactación variables. El ensayo mide la resistencia al Esfuerzo Cortante (punzonamiento) de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas, permitiendo obtener un % de relación de soporte.

El ensayo CBR es el ensayo más utilizado, el cual representa la relación, en porcentaje, entre el esfuerzo requerido para penetrar un pistón a cierta profundidad dentro del suelo ensayado y el esfuerzo requerido para penetrar un pistón igual,

a la misma profundidad, dentro de una muestra patrón de piedra triturada.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

El trabajo de aplicación parte de una lógica que se basa en la determinación de la deflexión de la estructura del pavimento a partir de una auscultación empleando métodos no destructivos para determinar el comportamiento del sistema pavimento – subrasante, así como de establecer una posible aplicación en la rehabilitación y evaluación de pavimentos, mediante modelos matemáticos a través de los cuales es posible determinar parámetros como el Módulo Resiliente (MR) que caracteriza de mejor manera el comportamiento del pavimento.

En el transcurso de este proceso de evaluación se tomó en cuenta aspectos imprescindibles como ser la caracterización de los materiales que conforman la estructura del pavimento en este tramo y la capacidad de recuperación del pavimento ante la aplicación de cargas móviles.

Con el fin de tomar en cuenta la naturaleza cíclica de las cargas que actúan en los materiales que conforman una estructura de pavimento, así como el comportamiento no lineal y resiliente de los materiales, investigadores y diseñadores han realizado en el mundo varios trabajos experimentales, tanto en modelos a escala natural como en muestras de material probadas en el laboratorio, obteniéndose valiosa información sobre el comportamiento esfuerzo - deformación de los materiales en respuesta del suelo a las diferentes sollicitaciones.

Estas deformaciones que surgen por el paso de vehículos son de recuperación instantánea, denominadas así deformaciones elásticas, sin embargo, existe una pequeña deformación permanente

denominada plástica, la cual al someter la muestra bajo ciclos de carga y descarga se va acumulando; debe hacerse notar el hecho de que en ciclos intermedios la deformación permanente para cada ciclo disminuye, hasta que prácticamente desaparece en los ciclos finales. La muestra llega así a un estado tal en que toda la deformación es recuperable proporcional a la carga y puede ser considerada como elástica. Para fines de análisis se considera que el comportamiento de los materiales es fundamentalmente elástico durante cada ciclo de carga, por lo que se caracteriza como un comportamiento resiliente. De aquí se desprende el concepto de módulo de resiliencia, el cual se basa en la deformación recuperable bajo la acción repetida de cargas y está definido como la relación entre el esfuerzo desviador repetido aplicado en compresión triaxial y la correspondiente deformación axial recuperable.

La metodología actual para diseño de pavimentos utilizada por el método AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) considera al parámetro Módulo Resiliente (MR) como la base para caracterizar el comportamiento de los materiales constitutivos de la sección de una carretera tanto para materiales finos como granulares.

Por lo expuesto anteriormente el especialista a cargo del diseño, construcción y conservación de tales estructuras, debe de tener el conocimiento básico de lo que el parámetro Módulo Resiliente (MR) representa, de la prueba de laboratorio y metodologías a partir de las cuales se obtiene y de los factores que hay que considerar para la selección del valor adecuado para su uso en una determinada metodología de diseño.

Para la determinación de este parámetro el proceso de evaluación implica la obtención de una

serie de datos recopilados únicamente mediante mediciones realizadas en campo y en laboratorio con muestras de suelo utilizando instrumentos no destructivos.

## TÉCNICAS

Las técnicas que se emplearon para obtener la información necesaria para poder desarrollar el presente trabajo fueron las siguientes:

- **Ensayos:** pruebas o técnicas experimentales que tienen una metodología de “medios” instrumento o equipo con el cual realizan los ensayos para determinar ciertas características.

Para el presente trabajo se realizaron 9 ensayos de valor soporte CBR para determinar las características de los materiales que conforman cada una de las capas del pavimento.

- **Medición:** La medida que resulta de la aplicación de una acción en base a un patrón.

Se evaluó la deflexión de la estructura del pavimento a través de la Viga Benkelman tomando 1 prueba por cada segmento.

Los segmentos en estudio se realizaron cada 50 m de los 15 kilómetros propuestos.

- **Comparación:** Se efectuó una comparación entre los datos obtenidos por ambas metodologías que permitan establecer un análisis de deformación del pavimento.

## RESULTADOS

Al realizar la evaluación estructural del pavimento nos basamos en el modelo matemático de HOGG SIMPLIFICADO donde se realizó el análisis de las curvas de deflexiones medidas, para este análisis de curvas se tuvo como base

dos principios básicos:

- a) La deflexión máxima como indicador de la capacidad de soporte del suelo de fundación.
- b) El radio de curvatura que adopta el pavimento nos indica la calidad y resistencia de las capas superiores del pavimento.

## DEFLEXIONES

En los resultados obtenidos se pudo verificar que la deflexión máxima no supera los 70 (0.01mm) para ninguno de los tramos en estudio encontrándose con deflexiones que no superan la deflexión admisible con la que fue diseñada la capa subrasante o suelo de fundación, dándonos a conocer que la capacidad soporte del suelo de fundación se encuentra en óptimas condiciones.

Se verifica que las deflexiones máximas determinadas superan solo en cierto porcentaje a la deflexión característica teniendo como resultados los siguientes:

- Para el tramo 13+520 – 18+500 la Deflexión Máxima (Do) supera en un 8,01% la Deflexión Característica.
- Para el tramo 08+520 – 13+500 Deflexión Máxima (Do) supera en un 12,67% la Deflexión Característica.
- Para el tramo 42+230 – 47+960 Deflexión Máxima (Do) supera en un 9,46% la Deflexión Característica.

Analizando la variación que se tuvieron en las deflexiones máximas a lo largo de los 3 tramos estudiados, cuyos resultados varían entre 20 (0,01 mm) y 50 (0,01 mm) se concluye que estas diferencias se deben a la variación de la temperatura entre un tramo y otro, ya que tanto la temperatu-

ra del pavimento como la temperatura ambiente además del tránsito tienen incidencia en la determinación de las deflexiones.

## RADIO DE CURVATURA

El Radio de Curvatura es una característica fundamental para determinar la magnitud de la deformación lineal por tracción que sufren las capas del pavimento al aplicar una carga puntual o móvil, por ello es de gran importancia determinar y analizar este parámetro en la evaluación estructural del pavimento.

En el caso de valores que se encuentren entre 100 m y 200 m se indica un comportamiento de suficiencia estructural, en el caso de curvas superiores a 300 m se indica un adecuado comportamiento estructural y para valores superiores a 600 m comprenden una estructura sumamente adecuada.

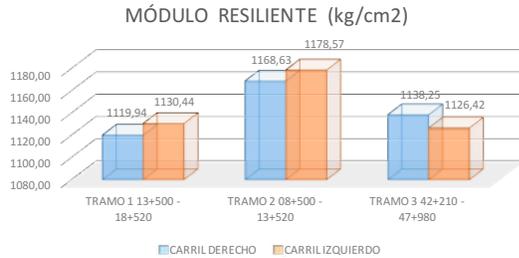
Los valores de Radio de Curvatura que se presentaron en ninguno de los casos es menor a 80 m, encontrándose valores entre 131 m y 579 m, con valores promedios entre 200 m y 300 m demostrando un adecuado comportamiento estructural de las capas superiores de la estructura del pavimento flexible que se encuentran sobre la subrasante.

## MÓDULO RESILIENTE

El Módulo de elasticidad o Módulo de Resiliencia del suelo de fundación que participa en la deformación del sistema pavimento – subrasante, es una característica fundamental para verificar el diseño del pavimento. El mismo se lo obtuvo a través del Modelo de HOGG SIMPLIFICADO que es considerado como el instrumento teórico para la interpretación de curvas de deflexión dándonos como resultado los siguientes Módulos de

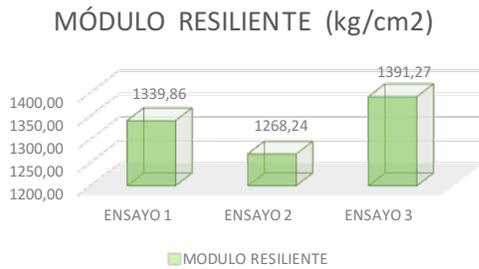
Resiliencia ponderados:

**FIGURA 2:** Valores del módulo resiliente alcanzados método viga benkelman



Al realizar el ensayo de validación Relación de Soporte del Suelo CBR en laboratorio (ASTM D1883; AASHTO T193) se obtuvo valores de CBR de la subrasante mediante los cuales se determinaron los valores de Módulos de Resiliencia para el tramo en estudio:

**FIGURA 3:** Valores del módulo resiliente a partir de ensayos de valor soporte CBR



El presente trabajo de investigación tiene como objetivo comparar los valores del Módulo Resiliente obtenidos por medios de ensayos de laboratorio y procedimientos de deflectometría, para tal caso, se analizarán los resultados arrojados por cada uno de los métodos previamente mencionados, tomando una media para cada carril en los 3 tramos estudiados. A continuación se muestra un resumen de los valores alcanzados.

**TABLA I:** Cuadro comparativo del módulo resiliente.

DEFLECTOMETRÍA				
TRAMO	CARRIL DERECHO		CARRIL IZQUIERDO	
13+500-18+520	1119,938	Kg/cm²	1130,400	Kg/cm²
08+500-13+520	1168,632	Kg/cm²	1178,568	Kg/cm²
VALOR SOPORTE CBR				
1	1339,855	Kg/cm²	1339,855	Kg/cm²
2	1268,239	Kg/cm²	1268,239	Kg/cm²
3	1391,274	Kg/cm²	1391,274	Kg/cm²

### Pavimento.

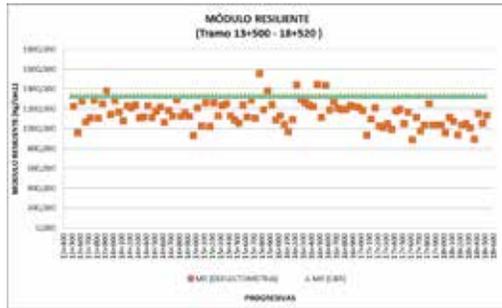
El mismo se lo obtuvo a través del Modelo de HOGG SIMPLIFICADO que es considerado como el instrumento teórico para la interpretación de curvas de deflexión dándonos como resultado los siguientes Módulos de Resiliencia ponderados:

Con el fin de analizar la dispersión de los valores del Módulo Resiliente obtenido por ambas metodologías,

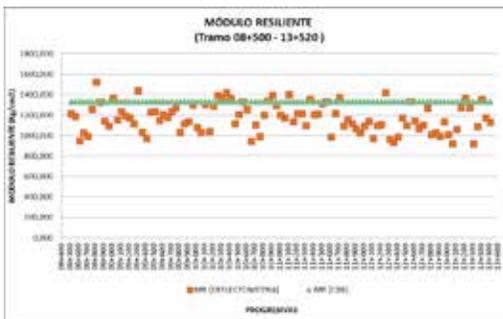
Con el fin de analizar la dispersión de los valores del Módulo Resiliente obtenido por ambas metodologías, en las siguientes figuras se compilan los resultados del Módulo Resiliente retrocalculados según los cuencos de deflexión, así como los resultados obtenidos en laboratorio para los diferentes contenidos de humedad a las cuales fueron ensayadas las probetas.

Estos resultados se muestran para cada uno de los tramos en estudio.

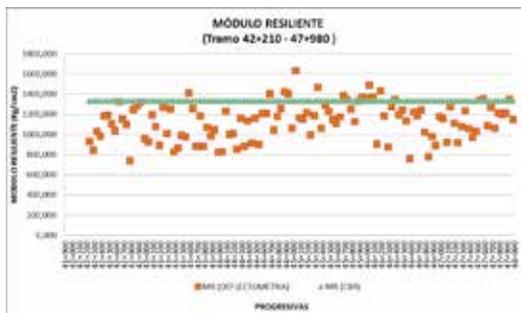
**FIGURA 4:** Comparación del módulo resiliente obtenido por ensayos de laboratorio y de deflectometría (tramo 13+500 – 18+520)



**FIGURA 5:** Comparación del módulo resiliente obtenido por ensayos de laboratorio y de deflectometría (tramo 08+500 – 13+520)



**FIGURA 6:** Comparación del módulo resiliente obtenido por ensayos de laboratorio y de deflectometría (tramo 42+210 – 47+980)



En principio se observa que los valores de Módulo Resiliente retrocalculados por deflectometría difieren en sus resultados para cuencos de deflexión medidos en horas de la mañana o de la tarde; lo que expresa cierta dependencia entre éstos y la temperatura ambiente a la que fueron realizadas las pruebas de deflectometría.

Estableciendo una correspondencia de los valores obtenidos tanto por deflectometría y laboratorio, se denota una variación entre una y otra metodología. Estas diferencias de módulo oscilan en un rango de 0,02 a 5.89%, siendo en su mayoría los valores obtenidos por deflectometría menores a comparación de los obtenidos en laboratorio.

Esto debido a que por una parte, los resultados de laboratorio representan una medida directa en las propiedades del material de subrasante a comparación de mediciones indirectas del Módulo ofrecidas a partir de datos de deflectometría, ensayo que se ve influenciado directamente por las condiciones ambientales como ser temperatura y estacionalidad y por condiciones del tráfico entre otros.

## DISCUSIÓN

Evaluando conceptos teóricos en los que se basan ambas metodologías de evaluación estructural del pavimento como son el análisis de deflectometría y ensayos de valor soporte CBR, se establecen en términos generales que el Módulo Resiliente (Mr) de una subrasante, obtenido por medio del cuenco de deflexión presentan una variación con respecto al Módulo Resiliente de laboratorio, esto se debe a que la deflexión permite ser correlacionada con la capacidad estructural de un pavimento, de manera que si la deflexión es alta en un modelo estructural, la capacidad estructural del pavimento es débil o deficiente, y lo contrario ocurre si la deflexión es baja quiere decir que el modelo estructural de un pavimento tiene una buena capacidad estructural.

Como equipo para la medición de deflexiones en campo, se aplica la viga Benkelman la cual genera un cuenco de deflexión; la caracterización del cuenco de deflexión determina una serie de pa-

rámetros, los cuales son corregidos por factores ambientales como temperatura y estacionalidad para la determinación del Módulo Resiliente de la estructura de un pavimento. En cambio el método AASTHO es un método simplificado para estimar el Modulo Resiliente a través de diferentes fórmulas empíricas de correlación.

Con el ensayo de deflectometría a través del modelo matemático de HOGG SIMPLIFICADO, se obtuvo un valor del Módulo Resiliente ponderado para los 3 tramos en estudio de 1143,702 Kg/cm<sup>2</sup> >> 900 kg/cm<sup>2</sup> valor que nos indica se trata de una subrasante buena, encontrándose en óptimas condiciones ya que todas las deformaciones que se presentan son recuperables en el tiempo.

Se establece la validación de estos resultados por deflectometría ya que se encuentran próximos a los valores determinados en función a datos de deflexiones medidos por la ABC para una evaluación del estado del pavimento del tramo San Lorencito – San Lorenzo.

Se realizó la caracterización de suelos y ensayos de Valor Soporte CBR para cada una de las capas que conforman el pavimento. El material utilizado para el desarrollo de los ensayos se extrajo de bancos.

De estos laboratorios se comprobó para cada capa los valores de CBR estimados en las Especificaciones Técnicas del Proyecto, dando como resultado para la capa base un CBR al 100% igual a 94,53; para la capa Subbase un CBR al 97% igual a 52,50 y para la Subrasante un CBR al 95% igual a 22,93.

Con el valor de CBR del suelo de subrasante se obtuvo un valor del Módulo Resiliente ponderado para todo el tramo igual a 1333,123 Kg/cm<sup>2</sup>.

De acuerdo a los valores obtenidos por ambas metodologías se establece que el comportamiento de la subrasante se encuentra en óptimas condiciones ya que se cumplieron las especificaciones técnicas de deflectometría, el Coeficiente de Variación de los valores de Deflexión Máxima no deberá ser mayor de 30% (varía entre 8,576 % al 14,478 %), el Módulo Resiliente promedio deberá ser mayor o igual a 900 Kg/cm<sup>2</sup> (se encuentra entre 1132,34 Kg/cm<sup>2</sup> a 1173,6 Kg/cm<sup>2</sup>).

Se ha observado que el Módulo Resiliente no es una propiedad constante sino que depende de muchos factores: compactación, presión de inflado, carga por eje, velocidad, nivel de tránsito diario como también de los materiales que constituyen las capas del pavimento y las condiciones ambientales.

Al realizar una comparación entre los Módulos obtenidos por ensayos de valor soporte CBR y los medidos por deflectometría, se analiza una variación entre resultados que oscilan entre el 0,02 a 5.89%, Se concluye que una de las posibles causas para que los resultados obtenidos en laboratorio arrojen valores más bajos, se debe a que para el ensayo de valor soporte CBR se aplican cargas estáticas. La deflexión en las carreteras viene dada a consecuencia de la aplicación cíclica y contante de cargas provenientes de los vehículos que circulan en ella, y esto no se refleja igual en laboratorio. Por el contrario, en el ensayo de deflectometría los resultados son más cercanos a la realidad debido a que se las realiza en campo y con una carga original transitando por la estructura del pavimento, aunque se deben tener muy en cuenta los diferentes factores por los que se ve afectado este método.

---

## BIBLIOGRAFÍA

Hugo Alexander Rondon Quintana Y Fredy Alberto Reyes Lizcano (2015), “Pavimentos, materiales, construcción y diseño”, En Ciencia e Ingeniería Neogranadina. Editorial MACRO Eco ediciones. Bogotá.

Ing. Silene Minaya Gonzalvez / M.I. Abel Ordoñez Huaman (2001). Manual de laboratorio ensayos para pavimentos. (Volumen I) - Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería civil (Lima-Perú).

INSTITUTO MEXICANO DE TRANSPORTE (2001). Módulos de Resiliencia en sulos finos y materiales granulares, publicación técnica N°142, Sanfandila, Qro.

Hugo Alexander Rondón Quintana/ Freddy Alberto Reyes Lizcano (2007) Metodologías de Diseño e Pavimentos Flexibles: Tendencias, Alcances y Limitaciones. En Ciencia e Ingeniería Neogranadina, Vol. 17-2, pp. 41-65. Bogotá, Diciembre de 2007. ISSN 0124-8170.

Ing. Pablo Del Aguila, Camineros S.A.C. – Peru, Consultores En Gestión de Infraestructura. Especificaciones Para Control Deflectometrico En Obras De Pavimentación

Hugo Alexander Rondón Quintana/ Freddy Alberto Reyes Lizcano (2007) Metodologías de Diseño de Pavimentos Flexibles: Tendencias, Alcances y Limitaciones. En Ciencia e Ingeniería Neogranadina, Vol. 17-2, pp. 41-65. Bogotá, Dic. de 2007.

## PENETRÓMETRO EN MINIATURA PARA LA MEDICIÓN DE CONTENIDO DE AGUA EN SUELO COHESIVO

MICHAEL WILLY ECHALAR FLORES<sup>1</sup>

<sup>1</sup>: Docente investigador de la Carrera de Ingeniería Civil – Departamento de Topografía y Vías – Facultad de Ciencias y Tecnología, Universidad Autónoma Juan Misael Saracho

**Dirección de correspondencia:** Michael W. Echalar F. Calle 15 de Abril - Tarija, Bolivia.

**Correo electrónico:** laraksosal@gmail.com - katerinsoruco@gmail.com

### RESUMEN

Se diseñó y verificó un penetrómetro en miniatura y para verificar su aptitud se han confeccionado probetas con suelo cohesivo en las que la densidad y humedad son conocidas, sobre las cuales se ha hecho el ensayo de penetración. Se desarrolló el instrumento tipo penetrómetro, a partir del CPT (Cone Penetration Test), más conocido como Cono Holandés o Cono Dinámico y se redujo el tamaño del instrumento a miniatura. Al contrastar el número de golpes requerido para penetrar 2.5 centímetros contra el contenido de humedad de la probeta en la que se realiza el ensayo se verifica que existe una correlación entre ambos valores. La investigación se llevó a cabo en el Laboratorio de Suelos y Hormigón de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho. El diseño experimental contempla la toma de muestras en un sistema no aleatorio.

### PALABRAS CLAVE

CPT, Cono Holandes, Cono Dinamico, Humedad, Correlación, Penetrómetro en miniatura

### ABSTRACT

The objective of this work is the design and verification a CPT type mini penetrometer, and the verification of moisture measurenet by the instrument.

In this work, the design and test of a CPT type, mini penetrometer was made. In order to evaluate its performance, a verification of moisture measurements in cohesive soils with a well-known moisture content was evaluated. There is a high level of correlation after the number of hits to got into a 2.5 centimeters of soil and the content of moisture on it.

This work was made in the Soil and Concrete Laboratory of the Science and Technology Faculty of Juan Misael Saracho University. Experimental methodology include extract test samples in handmade compacted cohesive soil

### KEYWORDS

CPT. Dutch Cone, Moisture, Correlation, Mini Penetrometer

### INTRODUCCIÓN

La exploración geotécnica es una de las actividades de mayor importancia dentro de cualquier tipo de obra sea esta lineal o estructural. Dentro del transcurso de este trabajo debe recabarse la mayor cantidad de información posible en el sitio de exploración para su proceso posterior, para esto se han desarrollado varios instrumentos portátiles para determinar propiedades de los suelos in situ.

Dentro de esta línea se encuentra el Speedy para determinar humedades y el Penetrómetro de Bolsillo para determinar capacidades portantes. Así también para varios instrumentos desarrollados para determinar una propiedad geotécnica, las mismas han sido ampliadas mediante correlaciones. Este es el caso del ensayo CPT, que ha sido empleado en la determinación de densidad, humedad y valores de C.B.R.

Es dentro de esta línea de investigación instrumental, la cual incluye sondeo mediante instrumentos muy finos y sensibles, y el empleo del análisis de señales como se indica en Santamarina (2004)]. Que surge la duda de si no es posible convertir el CPT en un instrumento portátil que pueda determinar propiedades geotécnicas.

De esta forma es que se plantea un penetrómetro en miniatura, de geometría y funcionamiento similar al CPT y se exploró la inicialmente la posibilidad de relacionar la penetración del mini penetrómetro con una de las propiedades más simples y útiles, el contenido de agua o humedad de un suelo. Se ha trabajado con un suelo cohesivo el cual es muy afín a los ensayos de penetración.

A continuación se detalla la configuración física del aparato, la metodología para la realización de los ensayos, la ecuación básica de correlación y los resultados conseguidos mediante la investigación.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales empleados para la realización de los ensayos en la presente investigación fueron provistos por el Laboratorio de Suelos y Hormigón de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

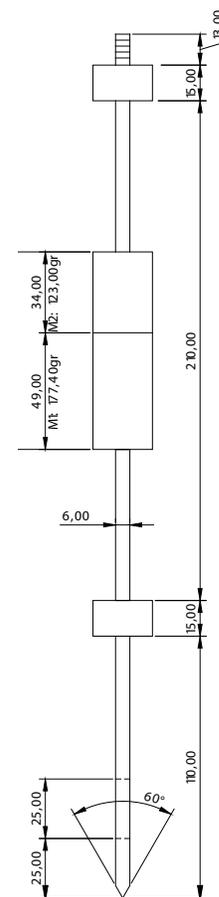
El principal ensayo realizado fue el de compactación Proctor, tanto en su versión

normal como modificada.

El instrumento desarrollado especialmente para esta investigación es el Penetrómetro en miniatura; cuyas características principales son las siguientes:

- Altura libre de caída para los martillos de 21 centímetros.
- Dos martillos de golpeo uno de 177.40 gramos y otro de 123.00 gramos, para el experimento se ha utilizado el peso combinado de ambos de, 300.40 gramos.
- Altura de penetración de 2.5 centímetros.
- Punta con ángulo de ataque de 60 grados.

FIGURA I: Esquema del penetrómetro en miniatura.



El material suelo sobre el que se realizaron todos los ensayos, es un suelo fino con las características siguientes: 98.16% del material pasa la malla N° 200, ejecutados los ensayos de límites se determinó que presenta un límite líquido de 48.00%, un límite plástico de 37.03% y un índice de plasticidad de 10.96%.

Corresponde a un suelo tipo ML en el sistema S.U.C.S. y a un suelo A-7-6 (18) en el sistema A.A.S.H.T.O.

Para contar con una gran variedad tanto de contenidos de agua como de densidades, se ha decidido emplear 6 energías de compactación, aplicadas en el molde Proctor estándar en tres capas. Son 3 energías con el martillo Proctor modificado empleando 25, 12 y 6 golpes; y otras 3 energías aplicadas con el martillo Proctor estándar utilizando 56, 25 y 12 golpes.

Para cada energía se han confeccionado 5 moldes con distintos contenidos de humedad. Al contar con 6 energías de compactación y 5 puntos por cada energía se han conseguido 30 puntos, representativos para el estudio del comportamiento del material. Este tamaño de muestra es el mínimo recomendado para que exista suficiente representatividad estadística en cualquier estudio práctico.

El método empleado para la realización experimental se describe a continuación.

1. Con 24 horas de anticipación a la realización del ensayo, se tomó una muestra para contenido de agua del suelo; al momento del ensayo determinar la humedad y calcular la cantidad necesaria de agua para lograr una humedad de compactación previamente escogida.

2. Tomar 3 kilogramos de material previamente molido y que pase por el tamiz N° 4, mezclar con el agua y homogenizar toda la masa con la misma.
3. Pesar el molde de compactación Proctor sin el collar.
4. Usar el martillo o estándar con una energía de compactación previamente escogida y compactar el suelo dentro del molde empleando 3 capas.
5. Enrazar cuidadosamente la parte superior del molde quitando el anillo.
6. Pesar el molde lleno de suelo húmedo.
7. Colocar el molde en una superficie horizontal estable e hincar el penetrometro 2.5cm contando la cantidad de golpes necesaria en por lo menos 3 puntos sobre el molde, de preferencia no en el centro ni cerca de los bordes.
8. Extraer el suelo de dentro del molde y tomar una muestra para contenido de agua.
9. Al día siguiente calcular la humedad y la densidad seca del molde y verificar que entre dentro de la tendencia de la curva de compactación.

Para el análisis de la correlación de las variables se parte de una ecuación que relaciona propiedades geoelectricas de los suelos y que se detalla en Gonzales de Vellejo (2002) y haciendo uso de la descripción de propiedades gravimétricas volumétricas de los suelos según Juárez Badillo (1990), se desarrolla el manejo algebraico para plantear la ecuación que describe la relación de variables.

Fórmula de Archie

$$\rho = \frac{\rho_w}{(\varphi S)^2} \quad [1]$$

$$\rho = \frac{\rho_w}{(w(\%)S_g)^2} \quad [8]$$

Donde:

 $\rho$  = resistividad del suelo $\rho_w$  = resistividad del agua contenida $\varphi$  = porosidad $S$  = saturación

resistividad relativa

$$\rho_a = K \left( \frac{V}{I} \right) = KR \quad [9]$$

Porosidad y saturación en notación de fases

$$\varphi = n(\%) = \frac{V_v}{V_m} \quad [2]$$

$$S = G_w(\%) = \frac{V_w}{V_v} = \frac{W_w}{V_v \gamma_w} \quad [3]$$

Simplificación del producto de porosidad y saturación

$$\varphi S = \frac{V_v}{V_m} \frac{W_w}{V_v \gamma_w} = \frac{W_w}{V_m \gamma_w} \quad [4]$$

Peso del agua como función de la humedad y peso del suelo

$$W_w = w(\%)W_s \quad [5]$$

Gravedad específica como función de las fases del suelo y densidad del agua

$$S_g = \frac{\gamma_d}{\gamma_w} = \frac{W_s}{V_m} \frac{1}{\gamma_w} \quad [6]$$

[5] y [6] en [4]

$$\varphi S = w(\%) \frac{W_s}{V_m} \frac{1}{\gamma_w} = w(\%) S_g \quad [7]$$

[7] en [1]

Igualando [8] a [9], simplificando y despejando humedad

$$\frac{\rho_w}{(w(\%)S_g)^2} = KR$$

$$(w(\%)S_g)^2 = \frac{\rho_w}{KR}$$

$$w(\%) = \sqrt{\frac{\rho_w}{RK}} \frac{1}{S_g}$$

Asumiendo como constantes las características eléctricas

$$w(\%) = \frac{C}{S_g}$$

En este punto se hace evidente que las características eléctricas del material dependen de la cantidad de agua y de la Gravedad Específica. Pero para los fines de este estudio la ecuación [11] nos muestra también que el contenido de agua es una función inversa de la Gravedad Específica si asumimos como constantes las características eléctricas.

Aplicando relaciones gravimétricas volumétricas sabemos que existe una proporcionalidad directa entre la Gravedad Específica de un suelo y su Densidad. De acuerdo a varios estudios y correlaciones realizadas para penetrómetros, sabemos también que la Densidad está directamente relacionada con la Resistencia a

la Penetración; por lo que proporcionalmente podemos sustituir la Gravedad Especifica (Sg) por la Resistencia a la Penetración (N).

Por lo expuesto anteriormente planteamos la siguiente relación inversa entre Contenido de Agua contra Resistencia a la Penetración.

$$w(\%) = \frac{a}{N^b}$$

Dónde:

- w(%) = contenido de agua
- N = resistencia a la penetración
- a = constante

**RESULTADOS**

De cada ensayo realizado, se obtuvieron los siguientes datos:

**Contenido de agua o Humedad**

Valor obtenido a partir de realizar el ensayo de humedad, a una muestra extraída del molde inmediatamente después de ser compactado y realizados los ensayos con el Penetrometro en Miniatura.

**Densidad húmeda**

Logrado a partir del peso de la masa de suelo compactada y su relación con el volumen del molde.

**Densidad seca**

Valor calculado a partir del valor de densidad húmeda y el contenido de agua de la muestra.

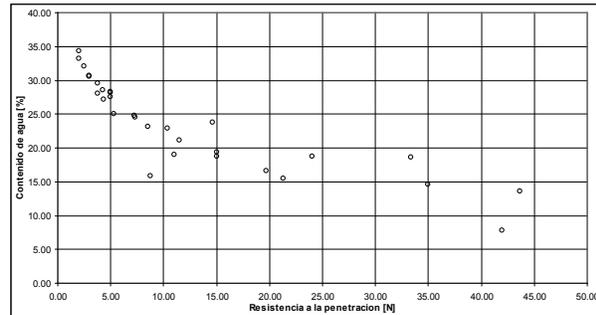
**Resistencia a la penetración**

Dato conseguido del promedio de por lo menos dos lecturas de penetración realizados sobre el

molde compactado.

A continuación se presenta una gráfica del contenido de agua contra la resistencia a la penetración.

FIGURA 2: w(%) vs. N



Se puede observar que la nube de datos sigue una tendencia clara, lo cual indica la existencia de interrelación entre las variables.

Es de notar que en contenidos altos de humedad existe muy poca dispersión de los datos, por el contrario para valores bajos de humedad se observa que los valores tienen baja convergencia.

La explicación a este comportamiento de los valores es que, a contenidos altos de humedad, la muestra es más homogénea ya que existe agua suficiente para humectarla totalmente, de esta forma cualquier punto en el molde contiene a fines prácticos la misma cantidad de humedad y por lo tanto arroja los mismos valores de resistencia a la penetración en cualquier punto de su masa.

En el caso de valores bajos de humedad, el agua empleada no es suficiente para lograr la humectación homogénea de toda la muestra debido a la tendencia de la misma de formar grumos; se ha tratado de reducir este efecto empleando rociadores y amasando la muestra pero ha sido imposible eliminar del todo el efecto. Es por esta razón que en el molde no todos los puntos de prueba tienen los mismos valores de

contenido de agua y no arrojan valores iguales de resistencia a la penetración.

### Calibración del modelo teórico

Partiendo de la estructura básica de la ecuación, usamos de la expresión siguiente:

$$w(\%) = \frac{a}{N^c}$$

Dónde:

$w(\%)$  = contenido de agua

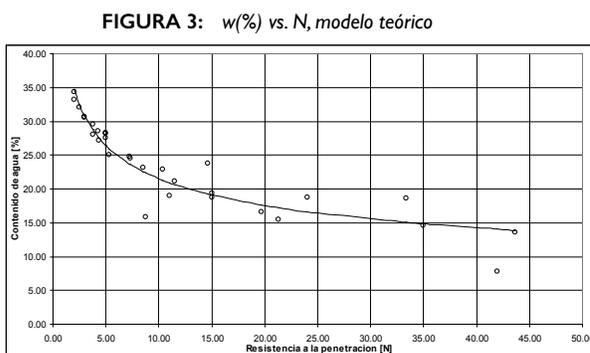
$N$  = resistencia a la penetración

Empleando la opción Regresión No Lineal de una versión trial del programa Statgraphics calibramos los coeficientes obtenidos los valores siguientes:

$$a = 42.6254$$

$$c = 0.297428$$

La expresión tiene un valor de R-Cuadrado de 88.21%, a continuación se muestra una figura en la que se muestra la nube de datos y la ecuación calibrada.



### Selección del mejor ajuste

Para la selección de un modelo matemático entre las dos variables se utilizó una versión Trial del programa Statgraphics, empleando la opción

Modelos De Calibración, la misma analiza varios modelos matemáticos que describan la relación entre las variables, e indica el que el que presenta el mayor valor de correlación, en este caso con un valor de 0.94; la expresión es la siguiente:

$$w(\%)^2 = a - b \ln(N)$$

$$w(\%) = \sqrt{a - b \ln(N)}$$

Dónde:

$w(\%)$  = contenido de agua

$N$  = resistencia a la penetración

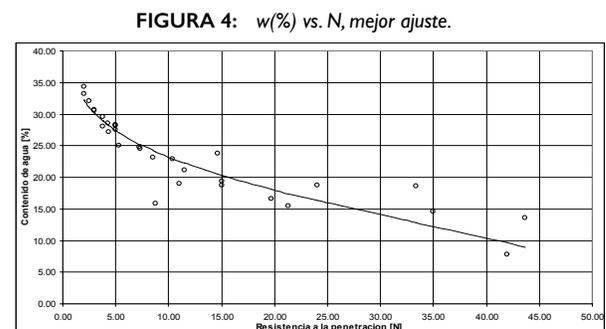
Los coeficientes resultado de calibrar el modelo anterior a los datos proporcionados son los valores siguientes:

$$a = 1248.09$$

$$b = 309.098$$

De acuerdo al reporte del programa de estadística la relación tiene un nivel de confianza del 95.0%, y un valor R-cuadrado que explica el 89.23% de la variabilidad de  $w(\%)$ . De tal forma que existe una clara relación entre las variables.

Se muestra a continuación una figura de la nube de puntos más la curva de la ecuación encontrada.



Observando la función con más detenimiento, teniendo en cuenta que la constante  $a$  puede

ser también expresada como un logaritmo, y empleando propiedades de estos podemos escribir la ecuación como:

$$w(\%)^2 = \frac{\ln(a)}{\ln(N)^b}$$

Así observamos que la expresión se trata de una relación inversa entre el contenido de agua y la resistencia a la penetración, este resultado es concordante con la teoría existente de la Mecánica de Suelos ya que a mayor contenido de agua menor resistencia a la penetración.

### DISCUSIÓN

A partir de los datos recolectados con los instrumentos propuestos y del análisis de la interrelación de las propiedades medidas, se puede emitir un criterio de la calidad de las relaciones propuestas, el mismo está basado en los valores de R-cuadrado obtenidos para cada relación; a manera de resumen a continuación se muestra una tabla que contiene el valor R-cuadrado para cada relación propuesta.

**TABLA I:** Valores de R-cuadrado modelos analizados

MODELO	R-cuadrado
TEÓRICO	88,21
AJUSTADO	89,23

Partiendo de los valores de correlación obtenidos tanto de modelo teórico como de la selección de un modelo estadístico, se comprueba que el valor de la resistencia a la penetración está fuertemente relacionado con el contenido de agua.

Las correlaciones logradas a partir de datos obtenidos con este instrumento tienen un R-cuadrado elevado. De esto se desprende que el instrumento tiene un desempeño consistente y confiable, así puede a futuro utilizarse como

equipo de laboratorio e investigar diferentes configuraciones físicas del aparato, como la posibilidad de relacionarlo con otras propiedades ingenieriles de aplicación práctica; incluso se puede investigar la mejor configuración física para una propiedad dada.

### BIBLIOGRAFÍA

GONZÁLES DE VALLEJO LUÍS I. Ingeniería Geológica. Pearson Education, Madrid 2002.

JUÁREZ BADILLO EULALIO Y RICO RODRÍGUEZ ALFONSO, Mecánica de Suelos, Tomo I, Fundamentos de la Mecánica de Suelos. Editorial Limusa S.A. de C.V. 3ª Ed. México 1990.

SANTAMARINA J. CARLOS, GYE CHUN CHO Y JONG-SUB LEE, Spatial Variability in Soils: High Resolution Assessment With Electrical Needle Probe.

Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering ASCE/August 2004.

TERZAGUI KARL, PECK RALPH B. Y MESRI GHOLAMREZA, Soil Mechanics in Engineering Practice. John Wiley & Sons 3d. Ed, New York 1996.

## ALTERNATIVAS DE DISEÑO ARQUITECTÓNICO EN TIERRA PARA LOS PISOS ECOLÓGICOS DE TARIJA

BALDIVIESO ALARCÓN GIOVANNA<sup>1</sup>

I: Investigador Junior; Carrera de Arquitectura y Urbanismo – Facultad de Ciencias y Tecnología –Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho” - Tarija – Bolivia

**Correo electrónico:** giovini.baldi@gmail.com

### RESUMEN

La necesidad de utilizar los recursos que nuestra propia zona nos brinda con abundancia impulsa la investigación sobre técnicas que utilicen materiales tradicionales de la zona, es el caso de la tierra o arcilla, siendo motivo de estudio su comportamiento, medio de utilización, alcances y posibilidades en cuanto a diseño Arquitectónico nos permite.

Entonces como arquitectos urbanistas nos concierne estar al tanto sobre las técnicas constructivas, además de las posibilidades morfológicas que nos permite la tierra, un material que emplea diferentes técnicas desde varios años atrás; para buscar la manera de re insertarla y convertirla en referente para el diseño arquitectónico actual y futuro en un camino sostenible.

El proyecto consiste en el estudio de la Tierra, sus potencialidades en cuanto a técnica y diseño formal, los beneficios y dificultades de la misma a través de la demostración de las técnicas en tierra, por medio de pruebas tangibles a escala real en los laboratorios de la Carrera de Arquitectura y Urbanismo, además de la demostración a pequeña escala.

Con los resultados que se logren obtener, se pretende que en base al análisis de sus beneficios y demás particularidades de este material, postular puntos y plantear la Tierra como una alternativa

para la resolución para el diseño formal, accesible y ambientalmente amigable de una vivienda aplicable en cualquier piso ecológico de Tarija.

### PALABRAS CLAVE

Tierra, Técnica, Diseño Arquitectónico, Pisos ecológicos.

### ABSTRACT

The need to use the resources that our own area provides us in abundance promotes research on techniques that use traditional materials such land, being a subject of study behavior, means of utilization, scope and possibilities In terms of architectural design allows us.

As city planning architects, we are concerned about the construction techniques, besides the morphological possibilities that the land allows us, a material that uses different techniques from many years ago; to find a way to re insert it and make it a reference for current and future architectural design in a sustainable way.

The project consists of the study of the land, its potentialities in terms of technique and formal design, its benefits and difficulties through the demonstration of some techniques, through tangible, real-time tests in the laboratories of The Career of Architecture and Urbanism and the demonstration on a small scale.

With the results obtained and the benefits and

other particularities of this material, postulate points and pose the land as an alternative to the resolution for the formal, accessible and environmentally friendly design of an applicable dwelling in any ecological floor of Tarija.

## KEYWORDS

Land, Technique, Architectural Design, Ecological Floors

## INTRODUCCIÓN

Tarija es una región como muy pocas en el mundo, donde podemos encontrar en el departamento los tres pisos ecológicos separados a pocas horas uno de otro, cada piso ecológico con diferentes micro climas y condiciones de vida diferentes.

Desde la Capital de Tarija situada en el piso ecológico denominado Valle, en dirección al norte podemos encontrarnos al promediar dos horas de recorrido en la zona alta de la ciudad, donde las condiciones climáticas cambian radicalmente, tornándose en un ambiente más frío y montañoso, en dirección al Sur partiendo de la misma Capital, alrededor de una hora y media de viaje nos encontramos con el trópico tarijeño, donde el clima es más cálido, en ambos casos se nota de manera clara el cambio en cuanto al paisaje natural se refiere y las condiciones climatológicas.

Cada zona dentro del departamento al contar con las diferentes condiciones tanto de clima como de características demográficas, proporcionan ciertos elementos y o recursos que se generan con abundancia. Es el caso de la tierra, que abunda en las diferentes zonas del departamento a pesar de las diferencias que existen entre las zonas, siendo aplicada de varias maneras y en diferentes porcentajes; son varios los casos en los que se aplica este recurso para la construcción de las

viviendas, además de la incorporación de otros materiales autóctonos de cada zona ecológica.

Pese a la existencia de estos materiales de fácil acceso para la construcción de viviendas, la percepción que existe en cuanto al hecho concreto de utilizar la tierra para la construcción habitacional es bastante negativa; pues en nuestro departamento la tecnología empleada en construcciones con tierra es demasiado elemental, la morfología es básica, no se va más allá de lo tradicional, muros de grosor considerable hechos de bloques de adobe y de tierra pisada, plantas cuadradas, cubiertas de teja y o paja, lo máximo dos plantas de construcción.

La percepción psicológica que se genera al plantear propuestas con tierra, es que estas construcciones son antihigiénicas, insalubres, que traen consigo muchas plagas y enfermedades, además de que las mismas son vistas como viviendas para los pobres, la tierra como material para los más desfavorecidos, siendo que en otras partes del mundo las construcciones con tierra son para los ricos.

El hecho de que este material sea menospreciado en el ámbito de la construcción, hace que la población en general tenga el ideal de un falso modo de vida, es decir que lograr la satisfacción que un hogar pueda brindar, sea por medio de los materiales con los que está hecho, tener el pensamiento que una vivienda hecha de ladrillo, teja o calamina, proporciona una mejor calidad de vida, que con las mismas se puede lograr belleza y tener cierto estatus social, ya sea el caso del hormigón, placas de yeso u otros materiales que en estas últimas décadas han reemplazado a la tierra.

Se tiene la idea que las posibilidades formales de una obra arquitectónica habitacional con tierra

son casi nulas y no permiten mayor riqueza, caso contrario son los nuevos materiales que si lo permiten.

La arquitectura de una vivienda puede ser infinita, e inclinarse hacia varios estilos, dependiendo de las necesidades del usuario, la comodidad, confort, función y belleza forman parte incondicional de todo diseño habitacional.

Esta investigación propone mostrar los alcances de la tierra en cuento a su intervención arquitectónica para la construcción de un hecho habitacional, su utilización como material primordial, reinsertándola como parte de propuestas formales. Planteando alternativas de intervención con tierra aplicables en los tres pisos ecológicos del departamento de Tarija, dando sugerencias para vivienda, con un enfoque medio ambiental y entrópico, con las diferentes técnicas posibles, adecuándose a las condiciones de clima y condiciones físico - naturales de cada sector incorporando materiales tradicionales que varían dependiendo el sector.

Se estudian las tecnologías autóctonas y el conocimiento popular en los modos de producir arquitectura en tierra en cada una de las zonas para desarrollar métodos para la aplicación

de la tierra, su incorporación y combinación con materiales típicos de la zona y a la vez con materiales contrastantes.

Se plantea la recuperación de la tecnología ancestral sin pretender en ningún momento un retorno al pasado que implique un retroceso y una negación a los actuales avances de la ciencia y tecnología; es decir poder beneficiarse de las prácticas y conocimiento que se heredaron tecnificándolas y mejorándolas para lograr su aplicación hacia una vivienda de calidad.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El objetivo principal del proyecto es proponer y realizar diseños arquitectónicos en tierra con innovaciones tecnológicas, apoyadas de ciencia y conocimiento a través de las posibilidades, espaciales, funcionales y formales, aplicables en los diferentes microclimas del departamento de Tarija con la adición de materiales autóctonos que refuercen las propuestas, con el fin de cambiar la percepción de la tierra y reinsertarla como una alternativa que los futuros arquitectos tomen en consideración como base de sus diseños.

Para el desarrollo del presente trabajo se ha planteado la siguiente metodología, que partió del estudio, recopilación de información y análisis.

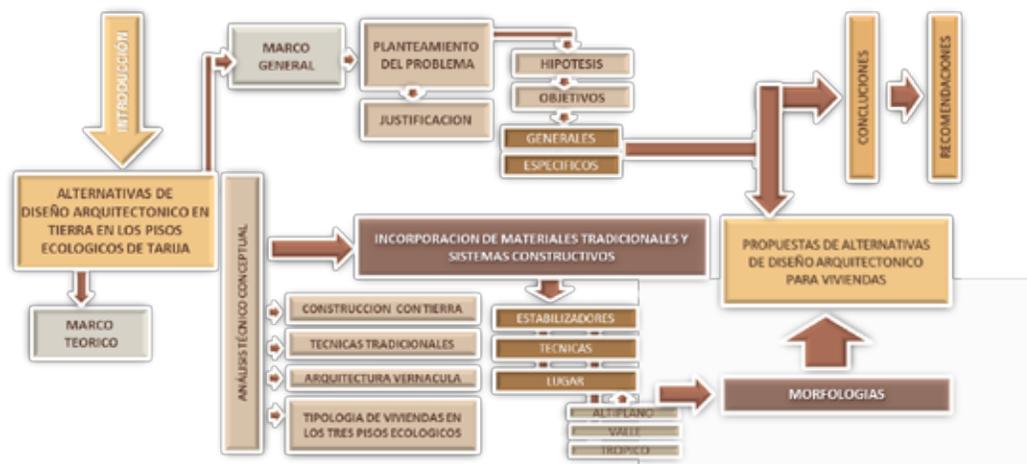


FIGURA I: Metodología empleada

## Arquitectura vernácula – construcción sostenible en los pisos ecológicos

La arquitectura vernácula es aquella que se constituye como la tradición regional más auténtica. Nació entre los pueblos autóctonos de cada región, como una respuesta a sus necesidades de hábitat, lo que la hace diferente, es que las soluciones adoptadas son un ejemplo de adaptación al medio; logra fundirse y confundirse con el paisaje donde se asienta, nace de la relación hombre-entorno y refleja de una forma directa, las maneras de habitar. Está en dependencia inmediata al medio, perfectamente adaptadas a él, siendo verdaderos resultando de una transformación, en la que el suelo proporciona la primera materia y el hombre la actividad transformadora.

## Arquitectura en Tierra – Características generales del uso de la Tierra

En casi todos los climas la tierra ha sido el material de construcción predominante. Es el material de construcción natural más importante y abundante en la mayoría de las regiones del mundo. Este se obtiene directamente en el sitio cuando se excavan los cimientos. En los países en aumento del impacto ambiental y el incremento de desempleo resurgió la tierra como material esencial de construcción.

No ha sido posible resolver los inmensos requerimientos de hábitat en los países en vías de desarrollo con materiales industrializados; las personas que construyen sus viviendas demandan edificaciones eficientes, económicas que dan mayor valor a la salud y al clima interior balanceado.

La edificación con tierra o barro se ha desarrollado a partir de la transmisión de conocimientos de origen popular que, como todo saber tradicional,

consisten en la manifestación de respuestas lógicas a necesidades locales, así como a las condicionantes y recursos que ofrece el medio natural.

## Desarrollo morfológico y tendencias constructivas de la vivienda en Bolivia

Las viviendas en Bolivia tanto en las construidas de manera propia como las otorgadas por planes sociales y el gobierno nacional, están siendo construidas con la incorporación de materiales modernos. La tendencia actual apunta sin duda hacia la modernidad, hacia una arquitectura habitacional que implica que la belleza de las obras está plasmada en el material con el que está edificado.

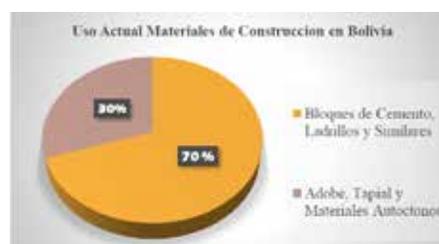


FIGURA 2: Uso actual de materiales de construcción en Bolivia

Bolivia no se ve inerte ante el cambio y desarrollo en el sector de arquitectura, el material de construcción pasó del adobe al ladrillo; de techumbres de paja al mayor uso de calaminas; del piso de tierra a la preferencia por los pisos de cemento, mosaico y el machihembre.

Análisis empleo de tierra y otros materiales de las zonas, en la construcción de viviendas en los tres pisos ecológicos de Tarija

Se procedió al análisis en los pisos ecológicos del departamento de Tarija, enfocándose en tres pisos fundamentalmente en la zona Altiplano, Valle y Trópico, donde en resumen se muestra el cambio en el porcentaje de empleo de materiales tradicionales como la tierra u otros obtenidos dentro de las propias zonas, versus los materiales

industrializados; con la intención de mostrar el cambio de percepción que se tuvo y tiene sobre el empleo de ciertos materiales, técnicas, en un camino directo a la pérdida de conciencia ambiental (refiriéndose al impacto ambiental que produce las construcciones), eficiencia energética y confort térmico.

Hay dos puntos fundamentales a considerar:

1. que las condiciones climáticas de cada piso influyen en el empleo de los materiales y en los porcentajes de empleo de los mismos para lograr sobrellevar los cambios de clima.
2. que la accesibilidad a las diferentes zonas, al referirse al traslado de los materiales de construcción.

FIGURA 3: Tablas comparativas de empleo de materiales modernos y autóctonos en la zona del Altiplano Tarijeño

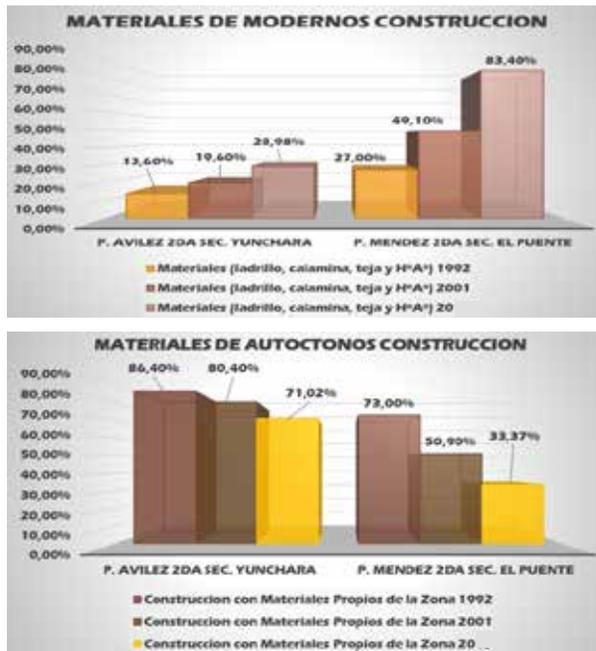


FIGURA 4: Tablas comparativas de empleo de materiales modernos y autóctonos en la zona del Valle Tarijeño

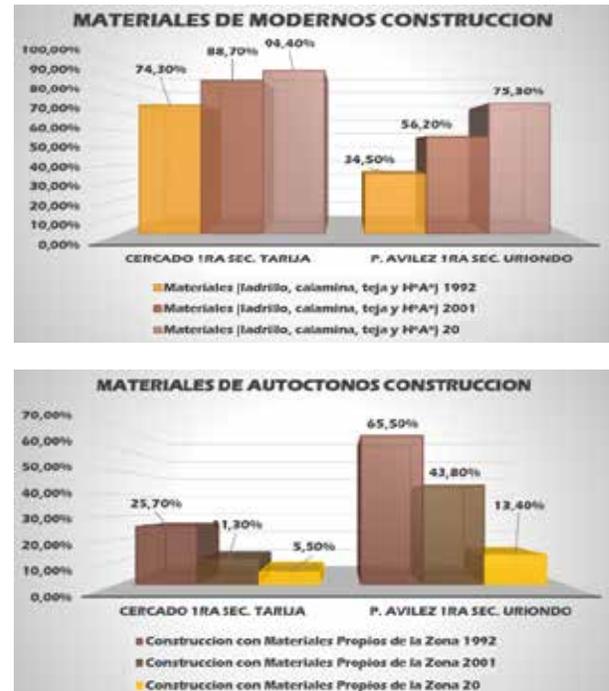


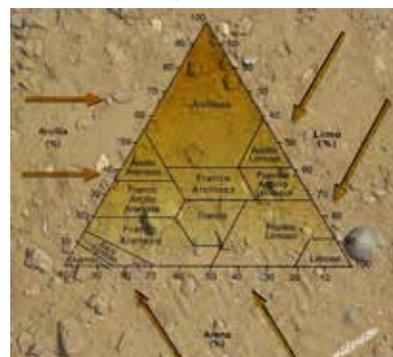
FIGURA 5: Tablas comparativas de empleo de materiales modernos y autóctonos en la zona del Trópico Tarijeño



## ESTUDIO TÉCNICO DE LA TIERRA

Para un óptimo desarrollo de la investigación se vio crucial el estudio técnico de la tierra como la materia prima esencial para la generación de un conjunto Arquitectónico.

FIGURA 6: Composición de la Tierra



Partiendo de La tierra y su composición: Siendo la misma conformada por Arcilla, limo y Arena en diferentes porcentajes acorde el tipo de suelo.

La determinación de los tipos de suelo existentes para el posterior empleo de técnicas acorde a la condiciones de suelo por pisos ecológicos.

FIGURA 8: Tipos de Suelo

ARENOSO	ARCILLOSO	LIMOSO
• Aspero al tacto	• Seco puede formar terrones duros, que no pueden romperse fácilmente	• Seco, aparece en terrones suaves
• Puede romperse fácilmente	• Suave al tacto	• Húmedo, se amasa y es muy pegajoso
• No es pegajoso al tacto	• Húmedo, pegajoso	• Suave al tacto, pegajoso
• No mancha los dedos	• Mancha los dedos	• Mancha los dedos

### Estudio de Arcilla

La arcilla es una roca sedimentaria constituida por agregados de silicatos de aluminio hidratados, procedentes de la descomposición de rocas que contienen feldespato, como el granito. Presenta diversas coloraciones según las impurezas que contiene, desde el rojo anaranjado hasta el blanco cuando es pura. Se caracteriza por adquirir plasticidad al ser mezclada con agua, y también sonoridad y dureza al calentarla por encima de 800 °C.

TABLA 1: Tipos de Arcilla

color	designación
Gris pizarra	Acumulación de materia orgánica (humus) descompuesta
Amarillo anaranjado	Arcillas ricas en óxido de silicio
Rojo ladrillo	Arcillas ricas en óxido de hierro
Anaranjado	Arcillas ricas en óxido de aluminio y óxido de hierro
Amarillo claro	Arena, pobre en nutrientes
Gris pardo claro	Mezcla de grava y arena
Gris ratón	Mezcla de arena, arcilla y materia orgánica sin descomponer
Terracota	Mezcla de arena, arcilla y materia orgánica descompuestas
Pardo oscuro	Arcilla rica en nutrientes
Verde oscuro	Abundante vegetación y materia orgánica

Su estudio es importante en la investigación para poder determinar el tipo de arcilla que se encuentra en la zona a emplazar y que posibilidades esta nos brinda acorde a su composición en la ejecución de técnicas con Tierra.

### Características físico mecánicas

La proporción ideal para la construcción con tierra es un 65 % de arena, 18 % de limos, y un 20 % de arcilla.

### Propiedades Generales de la Tierra

**Estabilización:** Se trata de métodos que a través de siglos de experiencia han permitido la alteración de la respuesta constructiva de la tierra mediante el agregado de componentes adicionales que subsanan su posible vulnerabilidad.

TABLA 2: Componentes utilizados para la Estabilización del barro

ANTES	AHORA
Sangre	Dosificación de arenas
Bosta	Cal
Orín	Betún
Suero de leche	Cemento
	Paja – lana
	Caseína

Los métodos de estabilización de tipo heterogéneo consisten en agregar al suelo componentes ajenos a su condición natural, los cuales le confieren propiedades estables ante la presencia del agua.

Los estabilizantes por consolidación proporcionan ayuda a las arcillas en la acción aglutinante que ejercen sobre las partículas inertes del suelo. Es decir, forman cadenas con los limos y arenas para mantenerlas unidas, con lo que se complementa el trabajo de las arcillas. El mejor estabilizante es la Cal, sirve de liga a las partículas del suelo aumentando su resistencia a la compresión y cortante, además de disminuir sus niveles de absorción hídrica y, por lo tanto, su posible retracción al secado.

Los estabilizantes por fricción sirven para conformar una especie de “red” a la que se adhieren las partículas del suelo y que controla su desplazamiento, dilatación y retracción durante el fraguado. Asimismo, modifican los patrones de agrietamiento derivados de cambios de humedad.

Los estabilizantes por impermeabilización tienen la función de conformar una especie de capa protectora en torno a las partículas de arcilla que regula su contacto con el agua y, por lo tanto, las consecuencias de sus cambios dimensionales.

El agua constituye otro elemento fundamental dentro del proceso constructivo ya que cumple dos funciones sustantivas. En primer lugar, permite el movimiento de las partículas sólidas de la mezcla al transportar a las más pequeñas entre las de mayor tamaño. Y en segundo lugar, activa las propiedades adhesivas de la arcilla.

### Preparado del barro

Es importante saber preparar el barro como condición básica para poder aplicar cualquier técnica que involucre el empleo de tierra.

La mezcla adecuada depende del tipo de suelo, de su consistencia y de la aplicación que se le quiera dar.

La prueba de sedimentación es un método fácil para poder determinar el tipo de suelo.

FIGURA 9: Explicación de prueba de sedimentación



Se realiza el experimento de la Bola de barro, para probar la elasticidad de la tierra y su adherencia a través del ensayo de caída.

FIGURA 10: Prueba Bola de Barro



**Humedecimiento, trituración y mezcla:** Para tener un material trabajable en construcción, no debe tener terrones. La forma más sencilla a emplear para preparar la mezcla adecuadamente es remover el barro humedecido con un azadón o amasando la mezcla con los pies

FIGURA 11: Trituración y amasado de mezcla



Para un trabajo a detalle ya sea en el interior de la vivienda como ornamento empleando arcilla, se procede al tamizado de la tierra, dando como resultado la separación de partículas de tierra, limo y arcilla.

FIGURA 12: Tamizado de Tierra para obtención de Arcilla



**Disolver barro:** para lograr disolver se debe dejar en remojo por un día para obtener una sustancia moldeable y lista para ser preparada y mezclada con otros aglomerantes.

La mezcla de barro se deja reposar, llamado el proceso de curado para lograr incrementar la cohesión de barro.

### Ventajas

- **El barro regula la humedad ambiental:** El barro tiene la capacidad de absorber y de sorber humedad más rápido y en mayor cantidad que los demás materiales de construcción. Por eso regula el clima interior.
- **El barro almacena el calor:** Al igual que otros materiales densos, el barro almacenara calor. En zonas climáticas donde las diferencias de temperaturas son amplias, o donde es necesario almacenar la ganancia térmica por vías pasivas, puede balancear el clima interior.
- **Barro ahorra energía y disminuye la contaminación Ambiental:** El barro prácticamente no produce contaminación ambiental en relación a los otros materiales de uso frecuente, para preparar, transportar y trabajar, solo se necesita el 1% de la energía requerida.
- **El barro es Reutilizable:** El barro crudo se puede volver a utilizar ilimitadamente. Solo se necesita ser triturado y humedecido con agua para ser reutilizado. En comparación con otros materiales no será nunca un escombro que contamine el medio ambiente.
- **El barro economiza materiales de construcción y costos de transporte:** Se encuentra en la mayoría de las obras producto de la excavación de cimiento puede ser utilizado para la construcción. Si este no contiene suficiente arcilla, esta será añadida y si contiene mucha arcilla deberá mezclarse con arena lo que significa modificar la

composición del barro. En comparación con otros materiales de construcción se puede disminuir considerablemente los costos.

- **El barro es adecuado para la autoconstrucción:** Las técnicas de construcción con tierra pueden ser ejecutadas por personas no especializadas en construcción. Se pueden ejecutar con herramientas sencillas y económicas, pero al mismo tiempo estas técnicas son más trabajosas en su ejecución.
- **El barro preserva la madera y otros materiales orgánicos:** El barro mantiene seco los elementos de madera y preserva cuando están en directo contacto con él, debido a su bajo equilibrio de humedad y su alta capilaridad. Los insectos y hongos no pueden destruir la madera en esas condiciones ya que los insectos necesitan una mínima humedad.
- **El barro Absorbe contaminantes:** Contribuye a purificar el aire de una ambiente interior. Es una realidad que el barro puede absorber contaminantes disueltos en agua.
- **Mejoramiento del clima interior:** La humedad el aire ejerce una influencia significativa en el bienestar de los habitantes y la tierra tiene la capacidad de balancear la humedad del aire como ningún otro material.

### Desventajas

- **El barro no es un Material de construcción estandarizado:** Su composición depende del lugar de donde se extrae puede contener diferentes cantidades y tipos de arcilla, limo, arena y agregados. Resulta necesario saber su composición específica del barro para poder juzgar sus características.

- **El Barro se Contrae al Secarse:** A través de la Evaporación del agua de amasado (necesaria para activar la capacidad aglomerante de la arcilla y para poder ser manipulado) pueden aparecer fisuras.
- **El Barro se Contrae al Secarse:** A través de la Evaporación del agua de amasado (necesaria para activar la capacidad aglomerante de la arcilla y para poder ser manipulado) pueden aparecer fisuras.

### TÉCNICAS ALTERNATIVAS EN TIERRA

Se llega a una fase vital para el proyecto de investigación y es el estudio de técnicas alternativas para la construcción empleando la tierra como material predominante.

Se describirá a continuación un resumen de cada técnica que emplea tierra, tanto las técnicas comunes como las nuevas aplicadas en otras partes del mundo.

### Aplicaciones clásicas de la tierra en arquitectura

- **Adobes:** Es una pieza para construcción hecha con una masa de barro (arcilla y arena) mezclada a veces con paja, moldeada en forma de ladrillo y secada al sol; con ellos se construyen paredes y muros de variadas edificaciones. La técnica de elaborarlos y su uso están extendidos por todo el mundo, encontrándose en muchas culturas que nunca tuvieron relación.
- **Tapial:** Se denomina tapia a una antigua técnica consistente en construir muros con tierra arcillosa, compactada a golpes mediante un “pisón”, empleando un encofrado deslizante para contenerla.

Figura 13: Muro de Tapial



- **Bahareque:** Bahareque es el sistema y técnica de construcción de viviendas hechas fundamentalmente con palos entretrejidos de cañas y barro, utilizado desde tempranas edades en la construcción de vivienda en pueblos considerados como primitivos. Puede ser combinado con tapias, adobes y bases rasantes y sub-rasantes de ladrillo o piedra, con la finalidad de dar mayor durabilidad a la estructura.
- **Quincha Prefabricada:** La quincha es un sistema constructivo tradicional que consiste fundamentalmente en un entramado de caña o bambú recubierto con barro. A diferencia de la quincha tradicional, la prefabricada emplea paneles modulares consistentes en bastidores de madera rellenos con caña trenzada y recubiertos con barro o algún otro material como yeso o cemento.

FIGURA 14: Muro de Quincha Pre fabricada



## Nuevas aplicaciones alternativas de la tierra en arquitectura

### Paneles de Barro Apisonado

Al hablar de barro apisonado hablamos de Tapial, y la técnica de elaboración previamente descrita. Con el objetivo de prevenir las fisuras horizontales de retracción en las juntas verticales de las técnicas tradicionales de barro apisonado, se desarrolló una nueva técnica para elaborar paneles de la altura de un piso de hasta 2.40 m mediante en un proceso de compactación continua. Esta técnica evita juntas horizontales, formándose solamente juntas verticales que se sellan después del proceso de retracción. Para la estabilidad lateral las juntas verticales se ejecutan con un sistema machimbrado. No aparecen fisuras de retracción en los paneles debido a sus pequeñas dimensiones.

FIGURA 15: Muros de paneles de Tierra Apisonada



### Modelado directo con Barro plástico

El barro como ningún otro material de construcción tiene la característica de convertirse en un material plástico al mezclarse con agua, pudiendo así ser moldeado. Representa por ello un reto de creatividad para los diseñadores y constructores. El moldeado manual de muros con bolsas de barro plástico o pastas plásticas de barro es una técnica tradicional muy extendida en África y Asia y también es conocida en Europa y América. Es la técnica más simple y primitiva ya que ninguna herramienta es requerida (sin

moldes ni procesos intermedios).

FIGURA 16: Muro Modelado de Barro



### Manguera de Barro

En esta técnica una manguera de tela elástica de algodón se rellena con una mezcla de barro alivianado con mineral, la manguera puede rellenarse con una bomba o a mano mediante un embudo. Cuando se alcanza la longitud requerida la manguera se corta y los extremos se cierran haciendo un nudo

Estas mangueras rellenas pueden ser fácilmente manipuladas debido al refuerzo que ofrece la tela. Antes de colocarse en el muro deben ser frotadas con la mano para que el barro cubra la tela. Cuando se apilan los elementos de barro se adhieren entre sí. Debido a que estas mangueras pueden ser moldeadas fácilmente sin roturas se puede crear modelos escultóricos muy atractivos. Luego en este estado húmedo la superficie puede ser alisada con una brocha empapada en agua. Se apilan entre columna verticales rotadas a 45° o entre elementos triangulares fijados a las columnas principales del muro.

El barro debe estar en condición de un 70% húmedo para su vaciado en las mangueras de tela a través de un embudo o bomba.

**FIGURA 17:** Muro de mangueras de Barro con revestimiento de cal.



### Panes de Barro

Los panes de barro se colocan en patrones de masonería pero sin mortero. Un hueco cónico se hace con los dedos en las caras exteriores de cada pan con el objetivo de mejorar la adherencia del mortero del revoque que se aplica posteriormente. Se colocan de tres a cinco hiladas por día. Después que se seca el muro se aplican varias capas de revoque de cal.

Se prepara con 50 % de Barro, 25 % arena, 20 % de paja y 5 % cal para endurecer el pan de barro.

**FIGURA 18:** Muro interior de Panes de Barro



### Superadobe

Se basa en introducir tierra estabilizada con cal o cemento, que mejoran las características resistentes del suelo, dentro de sacos que son capaces de resistir tracciones. El superadobe es un caso particular del earthbag, en el cual la colaboración de alambre de espinillo aporta adherencia entre los sacos.

En el relleno se emplea la tierra que se retira del lugar para hacer los cimientos y la que se acumula al allanar la zona de construcción. La cal permite el paso de la humedad ambiental por ende la vivienda “respira” el fenómeno se denomina transpirabilidad. Eso elimina la posibilidad de humedades, además tiene la facultad de no dejar pasar el agua de lluvia. Actualmente se ha desplazado el uso de la cal por el del cemento a pesar que el cemento no transpira y en su fabricación se utiliza mucha energía, en su mezcla se incorporan silicatos de aluminio y acelerantes que son contaminantes.

**Figura 19:** Cúpula con Superadobe



### COB

El Cob es uno de los tantos sistemas constructivos tradicionales de tierra cruda que el hombre ha desarrollado, el COB es secado en el sitio, las paredes se van levantando con la mezcla aún fresca. Piezas de invernadero, marcos de ventanas y puertas se moldean a mano, virtud ésta que estimula la creatividad y puede conferirle un toque artístico a la edificación. Una vez secada la mezcla, la paja interior queda trabada como una red tridimensional y las paredes se transforman en una pieza monolítica sin los “puntos de quiebre” que significan las juntas existentes entre los bloques de adobe.

**Figura 20:** Vivienda de COB con de talles modelados



### Bloques comprimidos de tierra estabilizada BTC

Los bloques de tierra comprimida son bloques de construcción uniformes y crudos de tierra de arcilla comprimida, adecuada para el uso en muros de carga, en muros normales, en muros que acumulen calor, en muros de calor y en hornos Finnoven.

**Figura 21:** Bloques Comprimidos de Tierra



### Entramados rellenos con barro plástico

**FIGURA 22:** Muro interior no portante con barro plástico



El barro plástico ha sido utilizado por miles de años para rellenar espacios en las viviendas construidas con rollizos donde los maderos se colocan horizontalmente y empalizadas (donde los rollizos se colocan verticalmente). En las viviendas el barro plástico se lanza en una esfera de ramas, gajos y cañas de bambú y otras.

### Estacas enrolladas de barro

Esta técnica consiste en elementos formados por paja y barro, enrollados alrededor de una estaca de madera. Se requiere menos trabajo tiene la ventaja que al endurecer no aparecen fisuras. Se emplean dos sistemas: - Se sumerge la estaca cubierta de paja en el barro sacándola con movimiento giratorio o una estera de paja embebida en barro se enrolla en la estaca.

**FIGURA 23:** Estacas en rolladas de barro muro interior



### Técnicas alternativas en cubiertas

Se vio la necesidad de incorporar tecnologías alternativas para cubiertas que vayan con las premisas planteadas.

Estas tecnologías nacen de la búsqueda de nuevas opciones a los sistemas tradicionales de la construcción. Se intenta lograr respuestas no convencionales a los problemas que se presentan en la construcción; la utilización de un material nuevo, un sistema alternativo de construcción, la utilización no tradicional de un material, entre otros. Las tecnologías alternativas pueden ser utilizadas en los diferentes ámbitos de la construcción, presentando soluciones no tradicionales a cerramientos, cubiertas, pisos, ventanas, tipos de estructuras, etc.

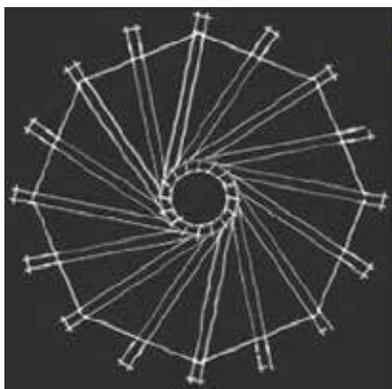
## Cubiertas con Estructuras Recíprocas

Una estructura recíproca es un ensamblaje tridimensional de elementos que se apoyan mutuamente. El principio de reciprocidad estructural, es una configuración espacial en la que están mutuamente apoyados entre sí (auto-apoyados) en circuito cerrado.

Las cubiertas de Vigas Recíprocas han sido utilizadas a lo largo de la historia, planteadas como una ingeniosa solución al problema de cubrir una distancia, o más bien una superficie, mediante elementos de dimensiones limitadas.

Debido a su naturaleza formal, la mayoría de las edificaciones construidas con Vigas recíprocas (VR) tienen planta circular y formas regulares. Sin embargo, la infinita variedad de posibilidades geométricas que presenta el sistema constructivo, así como la capacidad de crecimiento del sistema, la hace viable para cubrir todo tipo de formas y plantas. Depende totalmente de la longitud y la disposición de las VR.

FIGURA 24: Sistema de estructuras recíprocas



## RESULTADOS

La filosofía de las propuestas arquitectónicas que surgen de la aplicación de las nuevas técnicas; es buscar un equilibrio y armonía con el medio ambiente, que promueva una arquitectura amigable con el planeta bajo una

visión tecnológica donde se pueda demostrar la versatilidad de los sistemas constructivos con tierra para multiplicarlos y transferirlos.

## Propuesta arquitectónica en altiplano tarijeño

La propuesta que surge para el piso ecológico del altiplano tarijeño responde a todo el análisis previo recabado durante el proceso de investigación. Para la realización de la misma se toma en cuenta el análisis de los sistemas de cúpulas rescatada de la arquitectura vernácula de antaño.

FIGURA 25: Perspectiva Exterior de Propuesta Zona Altiplano



## La descripción técnica de la vivienda

Este proyecto incluye varias técnicas, usando en las cubiertas 'adobito recostado', técnica centenaria, con bóvedas auto-portantes construidas con pequeños formatos de bloques de tierra cruda. El cerramiento total de la construcción fue con la técnica de Adobones.

Los sistemas sanitarios emplean humedales artificiales con plantas para el tratamiento natural de las aguas, se usó la cal como cementante y se innovó con los pavimentos filtrantes.

FIGURA 26: Muros interiores



Los muros interiores no portantes, utilizan una técnica con bloques de barro moldeado.

FIGURA 27: Cúpula



Es un sistema de bajo costo, a base de bloques de tierra comprimida (BTC) o adobe, y no requiere de cimbra ni concreto armado se emplea los bloques generalmente de 5 cm x 10 cm x 20.

FIGURA 28: Vista Lateral Vivienda Altiplano



El revestimiento exterior de las bóvedas se realiza con tierra y como material impermeabilizante piedra laja, permitiéndonos lograr un integración con en el lenguaje exterior.

### Propuesta arquitectónica en el trópico tarijeño

Objetivo para la fundamentación de generación formal parte de Crear Un diseño que se adecue al contexto, el manejo de geometrías no euclidianas.

Lograr la concepción de la obra, como un proceso vivo, en el que lo sensorial motriz de la materialización se expresa.

FIGURA 29: Perspectiva Exterior de Propuesta Zona Trópico



La propuesta involucra distintas técnicas de construcción natural, adobes, techos vivos y diferenciación de aguas grises y negras con tratamientos de fito-depuración, torres de enfriamiento natural, calefacción por lechos de piedras, y agua caliente combinando 3 dispositivos interconectados: calefón solar, calefón a leña y termo a gas. Posee en su conformación proporciones geométricas que implican otras energías en su núcleo, en el vacío, la proporción, los muros curvos y sus relaciones, escala y dimensiones, conforman la organización del espacio,

FIGURA 30: Vista aérea de vivienda



**Datos técnicos:** Los cimientos de esta vivienda son de piedra, Se trabajó en base a un sistema filar constituido por rollizos de madera de molle y tensores que rigidizan, nudos y planos. Uniones, clavadas, encoladas, con anclajes metálicos, cada columna se introduce 1m bajo tierra, apisonada, con materiales que permiten el drenaje del agua y así se evita el contacto de la humedad con la

madera. Los muros de adobe de 45 cm, la piel exterior, y los de 30 cm, conforman los divisorios interiores, todos con viga de fundación que se entrelaza con los palos y crean un anillo perimetral. Tanto las mezclas a emplear en los adobes como los revoques y pinturas, son de tierra, arcilla con mezcla de arena en dosificaciones que varían según el tipo de ésta.

FIGURA 31: Muros exteriores redondeados



El techo vivo descarga sobre esta estructura, rigidizada, triangulada, flexible. La materialización estructural de la cubierta también se llevó adelante con palo redondo, columnas, vigas, ménsulas, etc.

FIGURA 32: Muro interior



### Propuesta arquitectónica en el valle tarijeño

Las siguientes propuestas a plantear se enfocan en viviendas para el piso ecológico del valle tarijeño empleando aspectos y técnicas recabadas durante todo el proceso de investigación.

Enfocándose en dar tres diferentes propuestas que demuestran la posibilidad de generación de

un hecho arquitectónico de gran belleza y con un aporte en la parte técnica, empleando materiales modernos en combinación a los tradicionales.

### PROPUESTA 1: VIVIENDA DE SUPERADOBE.

FIGURA 33: Perspectiva Exterior de Propuesta Zona valle



Se emplea un proceso de abstracción, para rescatar y emplear ciertos elementos que enriquecen un diseño arquitectónico, tanto para dar un lenguaje diferente en planta y elevaciones.

**Descripción técnica:** Los cimientos actúan como cimientos corridos elaborados de súper adobe reforzado con porcentaje más elevado de cemento (20%) para mayor resistencia.

Los muros exteriores planteado en esta propuesta son de SUPERADOBE, se dispuso esta técnica dado que logra soportar grandes cargas, su facilidad de hacer reduce el tiempo estimado para un construcción de una vivienda con materiales tradicionales como ladrillo. Las formas que el material nos permite son diversas. Esta técnica de superadobe no requiere estructuras portantes, en este caso sólo para apoyo a las cubiertas y diseño interior.

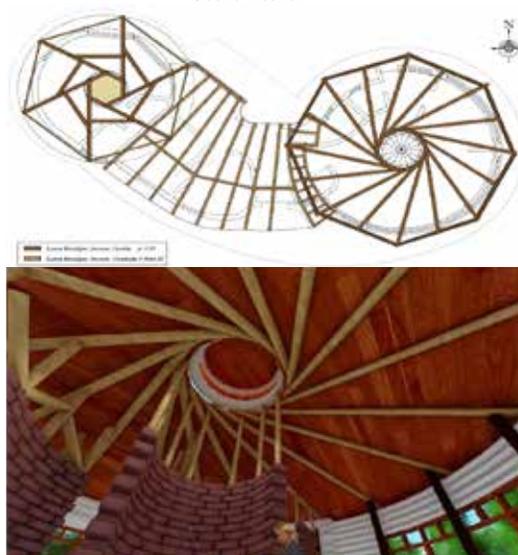
Los muros interiores fueron pensados de tal manera que proporciones belleza y variedad dentro de la vivienda por tal motivo se emplea Panes de Barro, los cuales son elaborados manualmente, aportando diversidad en

alternativas de mampostería de muros con panes de barro o llamarlos también barro plástico. Al ser estos muros de esta técnica no soportan cargas estructurales se complementó el diseño del mismo en la vivienda con estructuras de madera.

FIGURA 34: Muros interiores



Figura 35: Cubierta de estructuras recíprocas, diseño interior



Como cubierta para los ambientes de dormitorios y circulación se emplea cubierta jardín.

FIGURA 36: Cubierta Exterior ajardinada



FIGURA 37: Vista exterior



Esta propuesta emplea dos tipos de cubiertas. En los ambientes de dormitorio principal y ambientes compartidos como living, comedor, cocina y de apoyo, utilizan un sistema de cubiertas de estructuras recíprocas. Se escogió este tipo de estructuras que se auto sostienen entre sí, permitiendo grandes luces y aportando de sobremanera al diseño interior.

FIGURA 38: Espacio interior de vivienda



## PROPUESTA 2 VIVIENDA DE DOS PLANTAS

Plasma la posibilidad de emplear los materiales en más de una única planta.

Se desarrolla tomando los elementos conceptuales de círculos en planta y cilindros como volúmenes, líneas curvas que aportan al diseño de una cubierta.

Se pretende un diseño más orgánico y fluido, un poco retorcido.

FIGURA 39: Perspectiva Exterior de Propuesta Zona Valle



**Descripción técnica:** En cuanto a la construcción y empleo de técnicas para los muros, esta propuesta emplea bloques de tierra comprimida en su totalidad. La mampostería de los muros varía de acuerdo a sectores. Se utiliza una mampostería que deja aberturas en el muro

especialmente en la exterior para contribuir al diseño.

Figura 40: Vista exterior



Se maneja sistemas parabólicos para las aberturas de gran dimensión y en estas se emplea como material la piedra, que aporta belleza además de ser de gran resistencia.

FIGURA 41: Vista exterior de aberturas parabólicas



La cubierta a emplear en este diseño es de ferrocemento, la más adecuada para permitirnos jugar con las curvas y pendientes; es una estructura liviana que posibilita el moldeado de la forma.

Figura 42: Planta de Cubierta

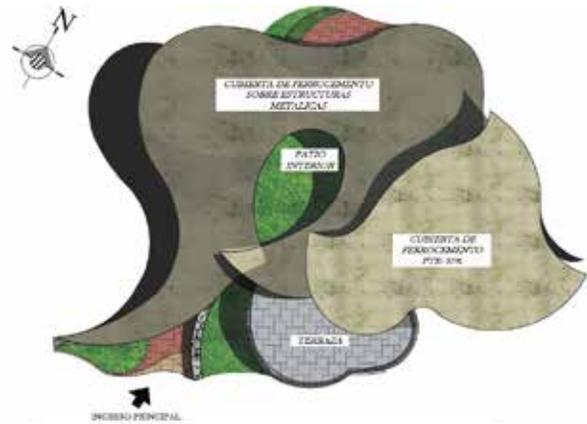


FIGURA 43: Fachada Exterior  
FIGURA 44: Vista interior de vivienda



FIGURA 45: Vista interior Vivienda



## PROPUESTA 3 VIVIENDA DE TAPIAL

FIGURA 46: Perspectiva Exterior de Propuesta  
Zona valle



Esta propuesta arquitectónica difiere rotundamente a la concepción de las propuestas planteadas anteriormente.

Parte de figuras geométricas puras que con ciertos elementos logran crear una forma.

Los volúmenes muestran penetración unión e intersección, proporcionando un juego de alturas

FIGURA 47: Vista aérea de cubierta



La inclinación de este diseño es más contemporáneo intentado mostrar la posibilidades de creación Arquitectónica.

**Busca crear:** Espacios libres y corridos, de cómodas dimensiones. Las aberturas respondan al lenguaje volumétrico y cumplan las características para su diseño en este tipo de climas.

El diseño de la vivienda contempla la técnica empleada de tierra apisonada (Tapial). Se emplea cimiento corrido de piedra con hormigón para poder soportar las cargas y dar mayor resistencia. Tanto los muros interiores como los exteriores

están hechos de la técnica de tierra apisonada o tapial. Esta técnica nos permite realizar un diseño más contemporáneo empleando una combinación con materiales industrializados.

**FIGURA 48:** Vistas interiores de Vivienda, muros tapial



**FIGURA 48:** Vistas interiores de Vivienda, muros tapial



Se emplea como cubierta la losa hecha de barro, combinada con materiales que ayudan a que este sistema sea eficaz.

Se procede al revestimiento de la cubierta con láminas de enchape de madera para cubiertas, como aislante, la pendiente que se emplea es de un 2 %.

**FIGURA 49:** Vista frontal, aberturas lineales



**FIGURA 50:** Vista posterior de vivienda



**FIGURA 51:** Fachada Frontal



## CONCLUSIONES

- La percepción psicológica que genera la tierra, es bastante negativa en la población en general, partiendo del pensamiento de ser un material insalubre e antihigiénico, un material limitante que no permite variedad y belleza y estar destinado a grupos sociales determinados; ha provocado que se manifieste una inclinación al uso de materiales nuevos o modernos, llevando hacia un falso ideal de vida, siendo ambientalmente dañinos en su mayoría; además de derrochar gran cantidad

de energía en su elaboración y ejecución.

- Con el desarrollo del proyecto de investigación se puede realizar un extenso estudio de la Tierra, enfocándose en su utilización en la construcción actual, con la incorporación de materiales nuevos por decirlo así, en búsqueda de un rescate de la arquitectura ancestral hacia su tecnificación con las herramientas y conocimientos actuales.
- Las condiciones climáticas y características de cada zona, proporcionan ventajas, varias pautas y consideraciones al momento de diseñar un hecho arquitectónico, tanto en lo formal, funcional, espacial, ambiental como en lo técnico constructivo con el uso de materiales típicos de la zona.
- Para la generación de un hecho arquitectónico en base a la Tierra, se debe tener los requerimientos claros; la selección de las técnicas a ejecutar en las propuestas deben ser seleccionadas en base a las características del clima, pues no todas las técnicas son aptas para los diferentes climas, además de proceder a la evaluación del tipo de terreno a emplazar y qué posibilidad nos ofrece esa tierra para su empleo.
- Por medio de las propuestas se logró mostrar la posibilidad diversa de la arquitectura, mostrar un trabajo holístico, enfocándose en lo espacial, ambiental, funcional, formal, técnico y constructivo; incorporar sistemas innovadores en camino hacia propuestas sostenibles y eficientes energéticamente.
- Postular que la belleza de una obra es posible con el empleo de cualquier tipo de material únicamente depende de la capacidad del arquitecto en combinarlos en base a los avances científicos y tecnológicos actuales.

- Los estudiantes de la carrera de arquitectura y urbanismo de la universidad podrán acceder y tomar la investigación del presente proyecto como base y principio de posteriores investigaciones.

La experiencia acopiada durante décadas por estudiosos, investigadores y constructores permiten sostener y difundir premisas necesarias a la hora de crear una arquitectura de tierra cruda. Afrontar que la arquitectura de tierra demanda una delicadeza extrema para la creación de una obra Arquitectónica.

Queda el desafío de continuar formando la conciencia y mostrando que, en materia de tierra cruda, no existen limitaciones que impidan crear una obra de gran belleza, de calidad y riqueza Arquitectónica.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Gernot Minke, Alemania. “Manual de Construction en Tierra”.
- [2] Ruben Osvaldo Chiappero- Maria Clara Suspisiche. Buenos Aires. 2003. “Arquitectura en Tierra Cruda” .
- [3] Johan Van Lengen. “Manual del arquitecto descalzo”.
- [4] Morales, Torres, Rengifo, Irala. Lima, Peru.1993. “Manual para la construcción de viviendas de adobe”.
- [5] P. Doat, H. Hays, H. Houben, S. Matuk, F. Vitoux. Frnacia. “Building With Earth (en inglés)” .
- [6] Johnny Salazar. Buenos Aires. “Manual de construcción natural: construyendo con Cob.” .
- [7] Kaki Hunted, Donald Kiffmeyer. Estados

## TIPOLOGÍA DE UN MODELO DE VIVIENDA TIPO RESIDENCIAL CONVENCIONAL EN LA CIUDAD DE TARIJA – AÑO 2013

COLODRO MENDIVIL FERNANDO IVAR<sup>1</sup>

<sup>1</sup>:Docente del Departamento de Hidraulica y Obras Sanitarias de la Carrera de Ingeniería Civil  
Facultad de Ciencias y Tecnología - UAJMS

**Dirección de Correspondencia:** Calle Méndez N° 345  
**Correo Electrónico:** ivar.colodro@gmail.com

### RESUMEN

El presente trabajo de investigación, pretende analizar una Vivienda Unifamiliar Tipo, la cual ha sido identificada como la más representativa de las edificaciones residenciales que se construyen en base a los datos del Censo de Población y Vivienda 2012 y registros de permisos de construcción aprobados por la Dirección de Ordenamiento Territorial dependiente del Gobierno Municipal de Tarija. Asimismo se determinó la tipología de la misma en base a una encuesta y los datos del Censo de Población y Vivienda 2012, es decir, de qué materiales está construida, número de ambientes, instalaciones con que cuenta, llegándose a definir un modelo.

De acuerdo a la calidad de materiales la vivienda está catalogada como una vivienda de Calidad “Buena”, que presenta condiciones de habitabilidad y confort aceptables que cumplen en su mayoría las normas de control vigentes. Referente a los materiales de construcción se observa que se consolida el uso del hormigón en todas sus formas como la estructura principal, el ladrillo cerámico de 6 huecos, revoques interiores con yeso, exterior con cemento, etc. Asimismo se aprecia la desaparición de algunos materiales como ser: Piso de mosaico, azulejo y en su reemplazo aparecen los pisos y revestimientos cerámicos.

En los últimos años, se nota una tendencia a construir edificios y/o condominios en la ciudad de Tarija tipo minimalista, como una respuesta a reducir los costos de los materiales más inflacionarios como ser la madera y a utilizar carpintería metálica y de aluminio.

### PALABRA CLAVE

Tipología, Edificación, Edificio Convencional, Vivienda Unifamiliar.

### ABSTRACT

This research work, aims to analyze a kind single-family housing, which has been identified as the most representative of the residential buildings that are built based on data from the Census of Population and Housing, 2012 and records of building permits approved by the Municipal Government of Tarija-dependent land use guidance. Also determined the typology thereof on the basis of a survey and data from the Census of population and housing, 2012, i.e., what materials is built, number of rooms, facilities available, to define a model.

According to the quality of materials housing is classified as a House of good quality, which presents conditions of habitability and comfort acceptable that mostly meet the control regulations in force. Concerning building materials is observed that it consolidates the use of concrete in all its forms as the main structure,

the ceramic brick of 6 holes, Interior plaster with plaster, exterior with cement, etc.

Also shown the disappearance of some materials such as floor tile, mosaic and its replacement are the floors and ceramic tile. In recent years, it shows a tendency to build buildings or condominiums in the city of Tarija type minimalist, as a response to reduce the costs of more inflation such as wood materials and use carpentry and aluminum.

## **KEYWORD**

Tipology, Building, Conventional Building, Familiar Housing.

## **1.- INTRODUCCION.**

El sector de la construcción representa una de las actividades con mayor importancia en la actividad económica y se caracteriza por el constante crecimiento que ha mostrado en los últimos años en la Ciudad de Tarija, debiendo tomarse en cuenta que esta comprende un conjunto de materiales, técnicas, procesos y oficios aplicados que se relacionan entre sí para hacer y/o crear diferentes tipos de estructuras.

De los diversos rubros de la construcción, el sector de las viviendas residenciales es considerado como uno de los más estratégicos, desde el punto de vista socio-económico y técnico, que en los últimos tiempos al parecer a originado un cambio de cultura de compras de viviendas en Tarija, que va más allá de la satisfacción de una necesidad (techo propio) para convertirse en una inversión rentable.

Asimismo, se deberá tomar en cuenta que la tipología de las viviendas residenciales de construcción varía en función de los hábitos, costumbres, tradiciones y cambios tecnológicos que han determinado la obsolescencia de algunos materiales y procedimientos constructivos,

incorporando otros nuevos.

Por otra parte, nos permitirá conocer de forma veraz y oportuna, las características de la construcción, considerando los materiales constitutivos y la diversidad de usos; servirá a su vez para la toma de decisiones gubernamentales y usuarios en general, previendo de información útil y confiable.

La tipología de una vivienda, se constituye en un parámetro de bienestar para la sociedad y como un elemento fundamental de planificación y desarrollo para el estado, ya que a partir de esta se recaudan los impuestos de bienes inmuebles (en la ciudad de Tarija, catastro urbano utiliza un modelo y parámetros de vivienda del año 2002, mediante el cual la sociedad paga sus impuestos de viviendas.

## **2.- OBJETIVO GENERAL.**

Determinar la tipología de construcción de las edificaciones en la ciudad de Tarija, considerando los materiales constitutivos, los sistemas constructivos y la diversidad de usos.

### **2.1.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

- 1.- Recopilar información sobre el tipo de edificaciones en la Ciudad de Tarija, para poder contar con una base de datos de las variables a ser investigadas.
- 2.- Cuantificar el número de edificaciones según su uso o destino como edificaciones residenciales (viviendas unifamiliares, viviendas multifamiliares y edificaciones no residenciales (comercio, servicio).
- 3.- Generar información básica para conocer las características estructurales de las edificaciones
- 4.- Determinar los materiales utilizados en

los elementos de la estructura, revestimientos internos y externos, así también en las instalaciones de las diferentes edificaciones.

### **3.- VARIABLES A SER INVESTIGADAS.**

Las variables que se investigarán son cualitativas

#### **Tipo de Edificación según su uso y destino**

- Edificaciones Residenciales (viviendas unifamiliares y multifamiliares)

#### **Número de pisos de la edificación**

- Número de pisos de Departamentos
- Ambientes que cuenta la vivienda
- Material utilizado en los elementos de la estructura
- Material utilizado en el revestimiento interno y externo
- Material utilizado en las distintas instalaciones

### **4.- METODOLOGÍA.**

El objetivo de la investigación, es de utilizar como instrumento la encuesta, utilizando como universo los registros de permisos de construcción aprobados y obtenidos de la base de datos de la Dirección de Ordenamiento Territorial (D.O.T.), dependiente del Gobierno Municipal de Tarija, quien dentro de sus funciones realiza la aprobación de permisos de construcción de edificios para el radio urbano de la ciudad de Tarija, de acuerdo a los lineamientos establecidos y que se encuentran en vigencia, a tal efecto realiza el registro correspondiente de manera diaria y de cada uno de los trámites hasta su aprobación. Este registro se dispone desde el año 2004 hasta la fecha.

Para la recolección de la información se utilizó la

entrevista directa por los encuestadores.

La distribución y planificación de cargas de trabajo se realizó por zonas de acuerdo a las direcciones de cada una de las Edificaciones de la muestra.

Se hizo uso de personal capacitado “Encuestador” quien estuvo a cargo de entrevistar al propietario del edificio considerado como informante, al que se le expuso el motivo de su visita. Finalmente, se procedió a realizar la encuesta verificando que la información proporcionada tenga el suficiente detalle, sea clara y legible para evitar alguna omisión o error.

Tomando en cuenta el objetivo del presente trabajo que es el de determinar la tipología constructiva de la Vivienda en la Ciudad de Tarija actual y considerando el tiempo aproximado que conlleva construir una vivienda que está en el orden de los 2-3 años desde el momento de la aprobación del proyecto, para el presente estudio se analizarán como base del universo de datos los años 2009-2010.

Para el diseño de la papeleta de encuesta se tomaron en cuenta los siguientes criterios:

1. Ubicación de la Edificación
2. Tipo de edificación
3. Ambientes de la Vivienda
4. Elementos de la estructura
5. Revestimientos de Pisos, Paredes y Techos
6. Puertas, Ventanas y Vidrios
7. Instalación eléctrica, Instalación de Agua, Instalación Sanitaria etc.

### **8.- REVESTIMIENTO EXTERIOR.**

Al tratarse de una población heterogénea, se elige un muestreo probabilístico. Dicho muestreo, se realizará sin reemplazo; es decir que una vez que

el elemento se selecciona para su inclusión en la muestra, se elimina del marco de la muestra y, por tanto, no puede elegirse de nuevo. En cuanto a la técnica específica seleccionada de acuerdo a las características de la población y el tipo de estudio, es la del muestreo aleatorio simple para estimar una proporción.

Para la determinación del tamaño de la muestra se utilizó la fórmula de Muestreo Aleatorio Simple por proporciones con poblaciones finitas, utilizando la siguiente fórmula:

$$n = \frac{Z^2 P Q N}{e^2 (N - 1) + Z^2 P Q}$$

Dónde:

$Z$  = Margen de confiabilidad (expresado en desviaciones estándar)

$P$  = Probabilidad de que el evento ocurra (expresado por unidad)

$Q$  = Probabilidad de que el evento no ocurra ( $1 - P$ )

$e$  = Error de estimación (máximo error permisible por unidad)

$N$  = Tamaño de la población

$N - 1$  = Error de corrección por continuidad

Datos a reemplazar en la fórmula:

$n$  = Número de encuestas

$N$  = 120 aprobaciones por año

$Z$  = 1,96 (dado un nivel de confianza del 95%)

$e$  = 7% (es el error que asumimos)

$P$  = 0,80 (es el porcentaje de usuarios que se encuentran satisfechos)

$Q$  = 0,20 (es el porcentaje de usuarios que no se encuentran satisfechos)

Reemplazando la fórmula tenemos:

$$n = 57 \text{ encuestas}$$

La información fue recopilada, durante los meses de agosto, septiembre y octubre del año 2012

Después de recoger la información necesaria, se procedió a transformar los datos en información, para lo cual se sigue dos fases:

### Fase de procesamiento:

Esta actividad involucra la depuración, codificación y tabulación. La depuración se realiza para verificar la confiabilidad y validez de los datos recolectados, mientras que la codificación para facilitar la tabulación posterior, se utilizó una codificación de tipo numérica que consiste en asignar un código a cada posible respuesta de cada pregunta; por último la tabulación consiste en crear la base de datos, esto se realizó manualmente mediante la hoja electrónica EXCEL por ser muestra pequeña.

### Fase de análisis e interpretación de los datos:

Consiste en analizar, interpretar y comparar los datos de manera numérica y gráfica.

## 9.- RESULTADOS.

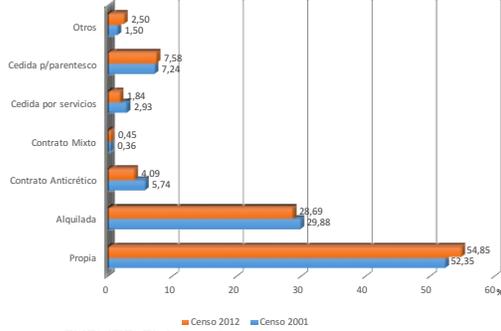
En base a la información de los Censos de Población y Vivienda, se determinó el

Tipo, tenencia y número de viviendas más predominantes en la ciudad de Tarija Cuadro N° 1 y gráficos N° 1 y 2

CUADRO N° 1: Datos del crecimiento poblacional y tipo de edificios según datos censales (2001-2012) ciudad de Tarija

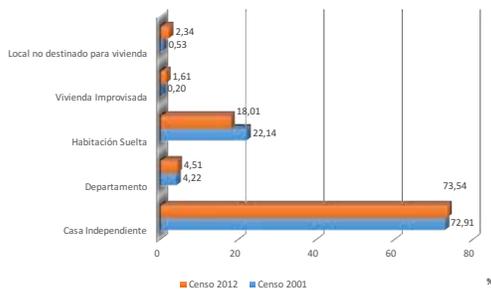
Año	Población		Edificios		Tipo de Vivienda			
	Hab.	Índice Anual/Población	Nº	Índice Anual/Edificios	Particular	%	Colectivo	%
2001	135783	4.43	34564	5.19	34383	99.48	181	0.52
2012	179528	2.54	53577	3.98	52850	98.64	727	1.36

GRÁFICO 1: Tenencia de la vivienda residencial ciudad de Tarija



FUENTE: Elaboración propia

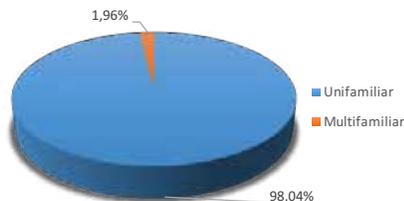
GRÁFICO 2: Tipo de viviendas particulares segun datos censales ciudad de Tarija



FUENTE: Elaboración propia

En base a los datos de los permisos de construcción entre los periodos 2006-2012 obtenidos de la D.O.T. podemos concluir que el 98,04% de los proyectos aprobados corresponden a viviendas Unifamiliares y el 1,96% a viviendas Multifamiliares entre los años 2006-2012 Gráfico N° 3.

GRÁFICO 3: permisos de construcción 2006-2012 viviendas residenciales ciudad de tarija



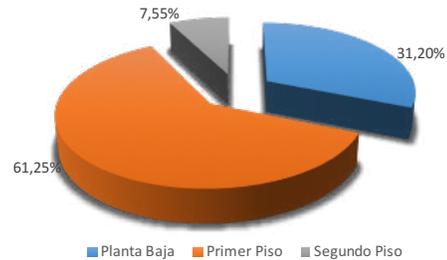
FUENTE: Elaboración propia

Asimismo se determinó, que el tamaño de los lotes en la ciudad de Tarija tiene en promedio un área que oscila entre 300-400 m2.

Considerando las viviendas unifamiliares como edificios con un máximo de 2 pisos (Planta Baja,

Primer piso y Segundo piso), se deduce que el 61,25% de los edificios tienen 1 piso, el 31,20% es de planta baja y el 7,55% es de 2 pisos Gráfico N° 4

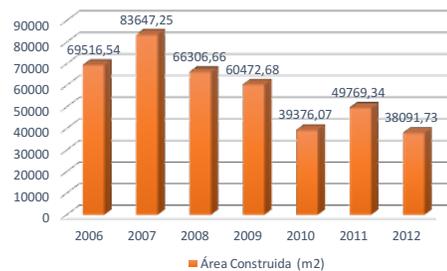
GRÁFICO 4: Viviendas unifamiliares - numero de pisos ciudad de Tarija



FUENTE: Elaboración propia

El área construida en la Ciudad de Tarija, alcanzo su valor máximo el año 2007 y el mínimo en el 2010 (a causa de la subida de costos en los materiales de construcción) en promedio al año alcanza a 58168 m2, con un promedio de vivienda construida en el orden de 285 m2 (ver Grafica N° 5).

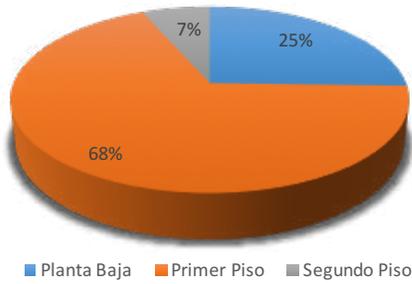
GRÁFICO 5: Área Construida (m2) en viviendas ciudad de Tarija



FUENTE: Elaboración propia

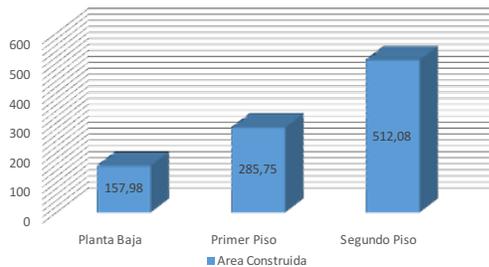
Como marco muestra se consideró los permisos de construcción aprobados por la D.O.T. en los años (2009-2010), este se definió tomando en cuenta la aprobación promedio de viviendas anual que alcanza a 160 Viviendas/año, habiéndose alcanzado los siguientes resultados Gráfico N° 6 y 7.

GRÁFICO 6: Número de pisos viviendas unifamiliares ciudad de Tarja



FUENTE: Elaboración propia

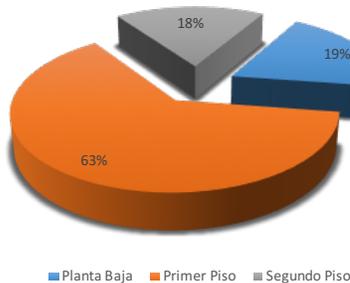
GRÁFICA 7: Área construida (m<sup>2</sup>) por pisos vivienda unifamiliar ciudad de Tarja.



FUENTE: Elaboración propia

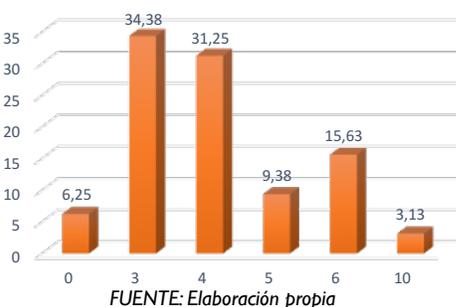
De las 57 encuestas realizadas, el 63% corresponden a edificios de 2 pisos (Planta Baja y Primer piso), el 18% a edificios de un piso (Planta Baja) y 18% con 2 pisos (Planta Baja, Primer piso y Segundo Piso) Gráfico N° 8).

GRÁFICO 8: Boletas de encuesta por pisos viviendas unifamiliares



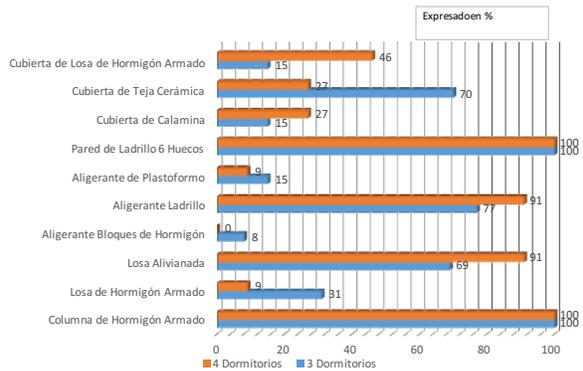
FUENTE: Elaboración propia

GRÁFICA 9: Número de dormitorios primer piso



FUENTE: Elaboración propia

GRÁFICA 10: Elementos de la estructura - vivienda unifamiliar ciudad de Tarja



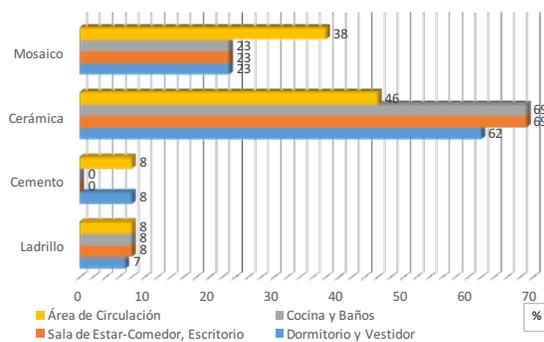
FUENTE: Elaboración propia

CUADRO 2: Porcentaje de ambientes de la vivienda unifamiliar ciudad de Tarja primer piso

N°	Ambiente	3 Dormitorios		4 Dormitorios	
		SI	NO	SI	NO
1	Dormitorio principal cuenta con Baño Privado	31	69	27	73
2	Dormitorio principal cuenta con Vestidor	15	85	9	91
3	La Vivienda cuenta con Sala de Estar-Comedor	92	8	91	9
4	La Vivienda cuenta con Escritorio-Estudio	31	69	0	100
5	La cocina cuenta con despensa	69	31	100	0
6	La cocina cuenta con lavaplatos	100	0	100	0
7	La cocina cuenta con mesón	100	0	100	0
8	La Vivienda cuenta con lavandería	100	0	100	0
9	La Vivienda cuenta con Dependencia para el Servicio	7	93	0	100
10	La Dependencia de Servicio cuenta con Baño Privado	0	100	0	100
11	Cuántos Baños tiene la Vivienda (Uno)	16		55	
	Cuántos Baños tiene la Vivienda (Dos)	77		45	
	cuántos Baños tiene la Vivienda (Tres)	7		0	
12	Baño Familiar compartido	100	0	100	0
13	Baño de Visita	77	23	45	55

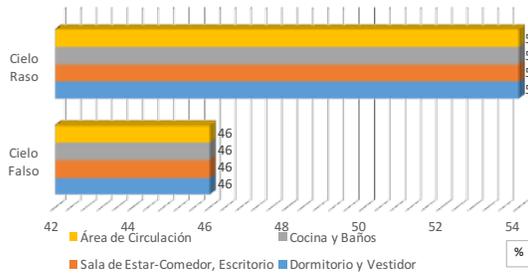
FUENTE: Elaboración propia

GRÁFICA 11: Tipo de pisos en ambientes (%) - primer piso 3 dormitorios



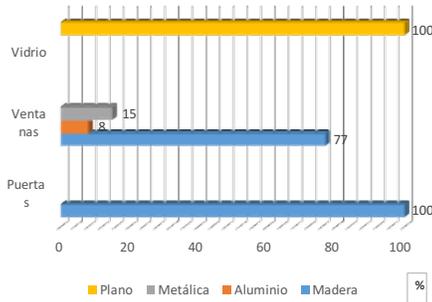
FUENTE: Elaboración propia

GRÁFICO 13: Tipos de revestimiento techos en ambientes (%) primer piso - 3 dormitorios.



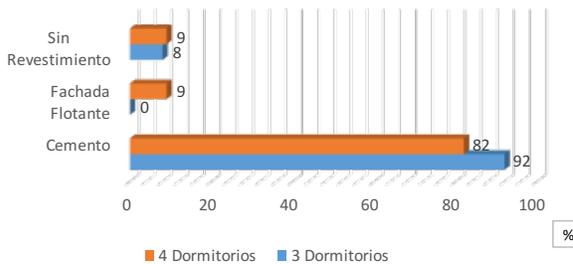
FUENTE: Elaboración propia

GRÁFICO 14: Material de las puertas, ventanas y vidrios primer piso - 3 dormitorios



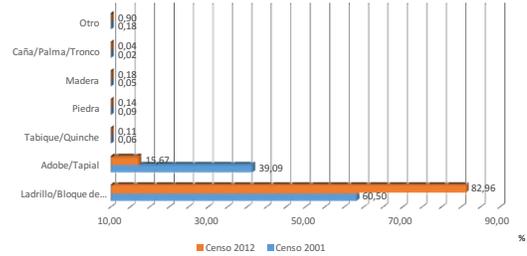
FUENTE: Elaboración propia

GRÁFICO 15: Material revestimiento exterior primer piso 3 dormitorios



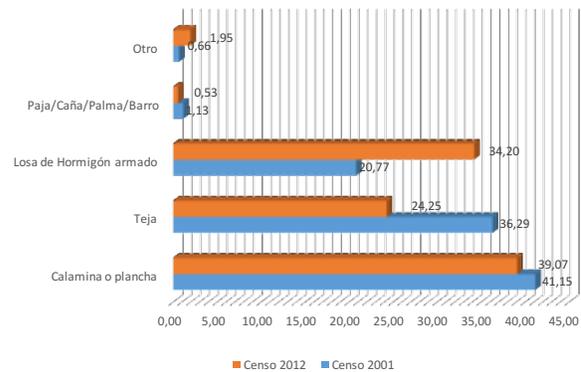
FUENTE: Elaboración propia

GRAFICO 16: material de construccion pared viviendas urbanas ciudad de Tarija censo 2001 - 2012



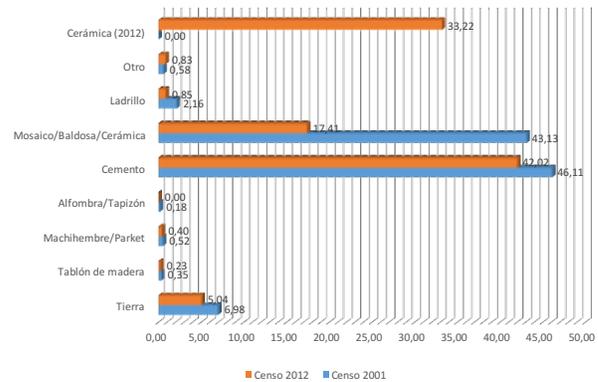
FUENTE: Elaboración propia

GRÁFICO 17: Material de construccion techo viviendas urbanas ciudad de tarija censo 2001 - 2012



FUENTE: Elaboración propia

GRÁFICO 18: Material de construcción piso viviendas urbanas ciudad de tarija censo 2001 - 2012.



FUENTE: Elaboración propia

Para la validación del trabajo realizado referente a los materiales de la construcción utilizados en las viviendas, se procesaron los datos censales 2001/2012 del I.N.E. (Instituto Nacional de Estadística) en la Ciudad de Tarija área Urbana.

## 10.- DISCUSIÓN.

En base a la encuesta realizada y los datos del Censo 2001 – 2012, se evidencio que la vivienda residencial unifamiliar en la ciudad de Tarija cuenta

con los ambientes indispensables necesarios en la mayoría de los casos, garantizando su habitabilidad y confort.

Asimismo, en los últimos años se consolidaron los elementos estructurales de la vivienda, mediante el uso de estructuras de hormigón armado y los muros de ladrillo cerámico de 6 huecos., lo contrario ocurrió con el adobe que poco o casi nada se utiliza, es de hacer notar la importancia actual que se tiene en la losa alivianada, que es utilizada en entresijos y las azoteas.

Entre los materiales más relevantes que en los últimos años son de uso más preponderante, podemos mencionar a los cerámicos que son utilizados en pisos y revestimientos en contraposición a los mosaicos y azulejos, que tienden a desaparecer. Otro material que tiene importancia en la construcción de una vivienda es la madera que es muy utilizada en nuestro medio como encofrado y carpintería de madera (puertas, ventanas, cielo falso, etc.), debido a la escases y su alto costo en nuestro medio, este material está siendo reemplazado por estructuras metálicas y carpintería de aluminio.

Los demás materiales de construcción, se mantienen en el tiempo, es el caso del techo de teja cerámica, el revoque interior con yeso, el revoque exterior con cemento, etc.

Cabe destacar, que durante la investigación se pudo constatar que una vivienda unifamiliar no necesariamente se construye entre 2 – 3 años, existen viviendas que están en medio construir hace varios años, debido a la falta de recursos económicos de los propietarios, por otra parte se observa que aproximadamente un 10% de las viviendas analizadas no tienen revoque exterior, característica particular que se observa en las viviendas de la ciudad de Tarija.

## TIPOLOGIA DE LA VIVIENDA UNIFAMILIAR.-

En base a la información analizada y procesada, se definió el tipo de edificación y la tipología constructiva de la misma, habiéndose llegado a las siguientes conclusiones:

1. El tipo de edificación más frecuente construida en la ciudad de Tarija es la Vivienda Unifamiliar Residencial.
2. Se entiende por Vivienda Unifamiliar Residencial a la edificación con un máximo de dos pisos, es decir: planta baja, primer piso y segundo piso.
3. La Vivienda Unifamiliar Residencial más frecuente está constituida por un piso es decir: planta baja y primer piso (Modelo seleccionado año 2013).
4. El área construida para el modelo seleccionado estará en el orden de los 250 m<sup>2</sup> o mayor.
5. La tipología referente a los ambientes de la Vivienda Unifamiliar, estará constituida por:
  - 1 Sala de estar y comedor en planta baja
  - 1 Sala de estar en planta alta
  - 1 Cuarto de cocina con lavaplatos y mesón
  - 1 Cuarto de estudio
  - 1 Baño familiar en planta alta
  - 1 Baño para visita en planta baja
  - 3 dormitorios planta alta
  - 1 Garaje.
6. La Estructura de la Vivienda Unifamiliar Tipo tendrá:
  - Columnas de hormigón armado
  - Viga de hormigón armado
  - Zapatas de hormigón armado

- Cimientos de hormigón armado
  - Empedrado y contra piso
  - Escaleras de hormigón armado
  - Losa alivianada con vigueta pretensada y aligerante de ladrillo
  - Paredes de ladrillo de 6 huecos.
7. El Tipo de Revestimiento de la Vivienda Unifamiliar Tipo tendrá:
- Exterior con revoque de cemento y arena Interior y cielo raso con revoque de yeso
  - En cocina y baño con yeso y cerámico.
8. La Cubierta de techos de la Vivienda Unifamiliar Tipo tendrá:
- Teja cerámica c/estructura metálica
9. El Cielo Falso en la Planta Alta de la Vivienda Unifamiliar será:
- Estructura metálica con alambre tejido y paja
10. Los Pisos de la Vivienda Unifamiliar Tipo será de:
- Piso cerámico en los ambientes interiores
  - Piso de cemento en el exterior.
11. Los Baños de la Vivienda Unifamiliar Tipo tendrá:
- Base de ducha de fibra de vidrio
  - Juego de baño de 2 piezas (inodoro tanque bajo – Lavamanos) de origen importado
12. La Cocina de la Vivienda Unifamiliar tendrá:
- Lavaplatos de acero inoxidable
  - Mesón de hormigón armado con revestimiento de cerámico
  - Carpintería de madera
13. La Carpintería y Vidriería de la Vivienda Unifamiliar tendrá:
- Puertas de madera
  - Ventanas de madera
  - Barandas de madera
  - Vidrio plano incoloro de 3 mm.
14. La Pintura de la Vivienda Unifamiliar será:
- Exterior látex al agua
  - Interior látex al agua
  - Cielo raso látex al agua
15. La Instalación Eléctrica de la Vivienda Unifamiliar tendrá:
- Tuberías, cable ductos y cajas de derivación de PVC.
  - Luminarias fluorescentes e Incandescentes.
  - Interruptores y toma corrientes.
16. La Instalación Sanitaria de la Vivienda Unifamiliar tendrá:
- Tuberías de agua potable y desagüe de PVC
  - Cajas interceptoras de PVC
  - Cámaras de inspección de ladrillo
  - Tanque plástico para agua
17. La Instalación de gas de la Vivienda Unifamiliar tendrá:
- Tuberías de hierro galvanizado
  - Accesorios de FG.



## BIBLIOGRAFÍA

Dirección General de Estadística y Censos. Índice del Costo de la Construcción Metodología Base Diciembre de 1999 = 100. Montevideo 1999.

Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC) - Índice del Costo de la Construcción en el Gran Buenos Aires-Base 1993. Metodología 9. (Buenos Aires 1996).

Gobierno Municipal de la Ciudad de Tarija y Provincia Cercado – Dirección de Ordenamiento Territorial (D.O.T.). (2010).

Plan Maestro de Ordenamiento Territorial de la Ciudad de Tarija. Tarija-Bolivia.

Gobierno Municipal de la Ciudad de Tarija y Provincia Cercado - Dirección de Ordenamiento Territorial (D.O.T.). Registro de Permisos de Construcción de Edificios en la Ciudad de Tarija. 2014-2012.

Instituto Nacional de Estadística (I.N.E.). Información Estadística-Actividades Económica – Construcción – Permisos de Construcción -Índice del Costo de la Construcción - Precios y Remuneraciones de la Construcción (Año Base=Junio 2002) – Precios Promedio de Principales Materiales de Construcción Tarija – Remuneraciones Promedio Principales Categorías Ocupacionales Ciudad de Tarija. Julio 15, 2014. ceninf@ine.gob.bo

## NORMAS DE PUBLICACION DE LA REVISTA CIENCIA SUR

### Misión y Política Editorial

La Revista CIENCIA SUR, es una publicación semestral que realiza la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho que tiene como misión, difundir la producción de conocimientos de la comunidad universitaria, académica y científica del ámbito local, nacional e internacional, provenientes de investigaciones que se realiza en las distintas áreas del conocimiento, para contribuir a lograr una apropiación social del conocimiento por parte de la sociedad.

CIENCIA SUR es una publicación arbitrada que utiliza el sistema de revisión por al menos de dos pares expertos (académicos internos y externos) de reconocido prestigio, pudiendo ser nacionales y/o internacionales, que en función de las normas de publicación establecidas procederán a la aprobación de los trabajos presentados. Asimismo, la revista se rige por principios de ética y pluralidad, para garantizar la mayor difusión de los trabajos publicados.

La revista CIENCIA SUR publica artículos en castellano, buscando fomentar la apropiación social del conocimiento por parte de la población en general.

Tanto los autores, revisores, editores, personal de la revista y académicos de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, tienen la obligación de declarar cualquier tipo de conflicto de intereses que pudieran sesgar el trabajo.

### Tipo de Artículos y Publicación

La Revista Ciencia Sur, realiza la publicación de distintos artículos de acuerdo a las siguientes características:

**Artículos de investigación científica y tecnológica:** Documento que presenta, de manera detallada, los resultados originales de investigaciones concluidas. La estructura generalmente utilizada es la siguiente: introducción, metodología, resultados, Discusión, pudiendo también si así lo desean presentar conclusiones.

**Artículo de reflexión:** Documento que presenta resultados de investigación terminada desde una perspectiva analítica, interpretativa o crítica del autor, sobre un tema específico, recurriendo a fuentes originales.

**Artículo de revisión:** Documento resultado de una investigación terminada donde se analizan, sistematiza e integran los resultados de investigaciones publicadas o no publicadas, sobre un campo en ciencia o tecnología, con el fin de dar cuenta de los avances y las tendencias de desarrollo. Se caracteriza por presentar una cuidadosa revisión bibliográfica de por lo menos 50 referencias.

**Artículos académicos:** Documentos que muestren los resultados de la revisión crítica de la literatura sobre un tema en particular, o también versan sobre la parte académica de la actividad docente. Son comunicaciones concretas sobre el asunto a tratar por lo cual su extensión mínima es de 5 páginas.

**Cartas al editor:** Posiciones críticas, analíticas o interpretativas sobre los documentos publicados en la revista, que a juicio del Comité editorial constituyen un aporte importante a la discusión del tema por parte de la comunidad científica de referencia.

## Normas de Envío y Presentación

- a. La Revista CIENCIA SUR, recibe trabajos originales en idioma español. Los mismos deberán ser remitidos en formato electrónico en un archivo de tipo Word compatible con el sistema Windows y también en forma impresa.
- b. Los textos deben ser enviados en formato de hoja tamaño carta (ancho 21,59 cm.; alto 27,94 cm.) en dos columnas. El tipo de letra debe ser Arial, 10 dpi interlineado simple. Los márgenes de la página deben ser, para el superior, interior e inferior 2 cm. y el exterior de 1 cm.
- c. La extensión total de los trabajos para los artículos de investigación, científica y tecnológica tendrán una extensión máxima de 15 páginas, incluyendo la bibliografía consultada.
- d. Para su publicación los artículos originales de investigación no deben tener una antigüedad mayor a los 5 años, desde la finalización del trabajo de investigación.
- e. Para los artículos de reflexión y revisión se tiene una extensión de 10 páginas. En el caso de los textos para los artículos académicos se tiene un mínimo de 5 páginas.
- f. Los trabajos de investigación (artículos originales) deben incluir un resumen en idioma español y en inglés, de 250 palabras.
- g. En cuanto a los autores, deben figurar en el trabajo todas las personas que han contribuido sustancialmente en la investigación. El orden de aparición debe corresponderse con el orden de contribución al trabajo, reconociéndose al primero como autor principal. Los nombres y apellidos de todos los autores se deben identificar apropiadamente, así como las instituciones de adscripción (nombre completo,

organismo, ciudad y país), dirección y correo electrónico.

- h. La Revista CIENCIA SUR, solo recibe trabajos originales e inéditos, que no hayan sido publicados anteriormente y que no estén siendo simultáneamente considerados en otras publicaciones nacionales e internacionales. Por lo tanto, los artículos deberán estar acompañados de una Carta de Originalidad, firmada por todos los autores, donde certifiquen la original del escrito presentado.

## Dirección de Envío de Artículos

Los artículos para su publicación deberán ser presentados en secretaría de la Facultad de Ciencias y Tecnología, Campus Universitario El Tejar, Tarija – Bolivia, Tel/Fax 591-46640256 Interno 12 o podrán ser enviados a las siguientes direcciones electrónicas: [cienciasur@uajms.edu.bo](mailto:cienciasur@uajms.edu.bo). También se debe adjuntar una carta de originalidad impresa y firmada o escaneada en formato pdf.

## Formato de Presentación

Para la presentación de los trabajos se debe tomar en cuenta el siguiente formato para los artículos científicos:

### Título del Artículo

El título del artículo debe ser claro, preciso y sintético, con un texto de 20 palabras como máximo.

### Autores

Un aspecto muy importante en la preparación de un artículo científico, es decidir, acerca de los nombres que deben ser incluidos como autores, y en qué orden. Generalmente, está claro que quién aparece

en primer lugar es el autor principal, además es quien asume la responsabilidad intelectual del trabajo. Por este motivo, los artículos para ser publicados en la Revista Ciencia Sur, adoptarán el siguiente formato para mencionar las autorías de los trabajos.

Se debe colocar en primer lugar el nombre del autor principal, investigadores, e investigadores junior, posteriormente los asesores y colaboradores si los hubiera. La forma de indicar los nombres es la siguiente: en primer lugar debe ir los apellidos y posteriormente los nombres, finalmente se escribirá la dirección del Centro o Instituto, Carrera a la que pertenece el autor principal. En el caso de que sean más de seis autores, incluir solamente el autor principal, seguido de la palabra latina “et al”, que significa “y otros” y finalmente debe indicarse la dirección electrónica (correo electrónico).

### **Resumen y Palabras Clave**

El resumen debe dar una idea clara y precisa de la totalidad del trabajo, incluirá los resultados más destacados y las principales conclusiones, asimismo, debe ser lo más informativo posible, de manera que permita al lector identificar el contenido básico del artículo y la relevancia, pertinencia y calidad del trabajo realizado.

Se recomienda elaborar el resumen con un máximo de 250 palabras, el mismo que debe expresar de manera clara los objetivos y el alcance del estudio, justificación, metodología y los principales resultados obtenidos.

En el caso de los artículos originales, tanto el título, el resumen y las palabras clave deben también presentarse en idioma inglés.

### **Introducción**

La introducción del artículo está destinada a

expresar con toda claridad el propósito de la comunicación, además resume el fundamento lógico del estudio. Se debe mencionar las referencias estrictamente pertinentes, sin hacer una revisión extensa del tema investigado.

### **Materiales y Métodos**

Debe mostrar, en forma organizada y precisa, cómo fueron alcanzados cada uno de los objetivos propuestos.

La metodología debe reflejar la estructura lógica y el rigor científico que ha seguido el proceso de investigación desde la elección de un enfoque metodológico específico (preguntas con hipótesis fundamentadas correspondientes, diseños muestrales o experimentales, etc.), hasta la forma como se analizaron, interpretaron y se presentan los resultados. Deben detallarse, los procedimientos, técnicas, actividades y demás estrategias metodológicas utilizadas para la investigación. Deberá indicarse el proceso que se siguió en la recolección de la información, así como en la organización, sistematización y análisis de los datos. Una metodología vaga o imprecisa no brinda elementos necesarios para corroborar la pertinencia y el impacto de los resultados obtenidos.

### **Resultados**

Los resultados son la expresión precisa y concreta de lo que se ha obtenido efectivamente al finalizar el proyecto, y son coherentes con la metodología empleada. Debe mostrarse claramente los resultados alcanzados, pudiendo emplear para ello cuadros, figuras, etc.

Los resultados relatan, no interpretan, las observaciones efectuadas con el material y métodos empleados. No deben repetirse en el texto datos expuestos en tablas o gráficos, resumir o recalcar

sólo las observaciones más importantes.

### Discusión

El autor debe ofrecer sus propias opiniones sobre el tema, se dará énfasis en los aspectos novedosos e importantes del estudio y en las conclusiones que pueden extraerse del mismo. No se repetirán aspectos incluidos en las secciones de Introducción o de Resultados. En esta sección se abordarán las repercusiones de los resultados y sus limitaciones, además de las consecuencias para la investigación en el futuro. Se compararán las observaciones con otros estudios pertinentes. Se relacionarán las conclusiones con los objetivos del estudio, evitando afirmaciones poco fundamentadas y conclusiones avaladas insuficientemente por los datos.

### Bibliografía Utilizada

La bibliografía utilizada, es aquella a la que se hace referencia en el texto, debe ordenarse en orden alfabético y de acuerdo a las normas establecidas para las referencias bibliográficas (Punto 5).

### Tablas y Figuras

Todas las tablas o figuras deben ser referidas en el texto y numeradas consecutivamente con números arábigos, por ejemplo: Figura 1, Figura 2, Tabla 1 y Tabla 2. No se debe utilizar la abreviatura (Tab. o Fig.) para las palabras tabla o figura y no las cite entre paréntesis. De ser posible, ubíquelas en el orden mencionado en el texto, lo más cercano posible a la referencia en el mismo y asegúrese que no repitan los datos que se proporcionen en algún otro lugar del artículo.

El texto y los símbolos deben ser claros, legibles y de dimensiones razonables de acuerdo al tamaño de la tabla o figura. En caso de emplearse en el artículo Figuras y figuras de escala gris, estas deben ser preparadas con una resolución de 250

dpi. Las figuras a color deben ser diseñadas con una resolución de 450 dpi. Cuando se utilicen símbolos, flechas, números o letras para identificar partes de la figura, se debe identificar y explicar claramente el significado de todos ellos en la leyenda.

### Derechos de Autor

Los conceptos y opiniones de los artículos publicados son de exclusiva responsabilidad de los autores. Dicha responsabilidad se asume con la sola publicación del artículo enviado por los autores. La concesión de Derechos de autor significa la autorización para que la Revista CIENCIA SUR, pueda hacer uso del artículo, o parte de él, con fines de divulgación y difusión de la actividad científica y tecnológica.

En ningún caso, dichos derechos afectan la propiedad intelectual que es propia de los(as) autores(as). Los autores cuyos artículos se publiquen recibirán un certificado y 1 ejemplar de la revista donde se publica su trabajo.

### Referencias Bibliográficas

Las referencias bibliográficas que se utilicen en la redacción del trabajo; aparecerán al final del documento y se incluirán por orden alfabético. Debiendo adoptar las modalidades que se indican a continuación:

#### Referencia de Libro

Apellidos, luego las iniciales del autor en letras mayúsculas. Año de publicación (entre paréntesis). Título del libro en cursiva que para el efecto, las palabras más relevantes las letras iniciales deben ir en mayúscula. Editorial y lugar de edición.

Tamayo y Tamayo, M. (1999). El Proceso de la Investigación Científica, incluye Glosario y Manual de Evaluación de Proyecto. Editorial Limusa. México.

Rodríguez, G., Gil, J. y García, E. (1999). Metodología de la Investigación Cualitativa. Ediciones Aljibe. España.

### Referencia de Capítulos, Partes y Secciones de Libro

Apellidos, luego las iniciales del autor en letras mayúsculas. Año de publicación (entre paréntesis). Título del capítulo de libro en cursiva que para el efecto, las palabras más relevantes las letras iniciales deben ir en mayúscula. Colocar la palabra, en, luego el nombre del editor (es), título del libro, páginas. Editorial y lugar de edición.

Reyes, C. (2009). Aspectos Epidemiológicos del Delirium. En M. Felipe, y Odun. José (eds). Delirium: un gigante de la geriatría (pp. 37-42). Manizales: Universidad de Caldas

### Referencia de Revista

Autor (es), año de publicación (entre paréntesis), título del artículo, en: Nombre de la revista, número, volumen, páginas, fecha y editorial.

López, J.H. (2002). Autoformación de Docentes a Tiempo Completo en Ejercicio. En Ciencia Sur, N° 2. Volumen I. pp 26 – 35. Abril de 2002, Editorial Universitaria.

### Referencia de Tesis

Autor (es). Año de publicación (entre paréntesis). Título de la tesis en cursiva y en mayúsculas las palabras más relevantes. Mención de la tesis (indicar el grado al que opta entre paréntesis). Nombre de la Universidad, Facultad o Instituto. Lugar.

Salinas, C. (2003). Revalorización Técnica Parcial de Activos Fijos de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho. Tesis (Licenciado en Auditoría). Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, Facultad de Ciencias y Tecnología. Tarija – Bolivia.

### Página Web (World Wide Web)

Autor (es) de la página. (Fecha de publicación o revisión de la página, si está disponible). Título de la página o lugar (en cursiva). Fecha de consulta (Fecha de acceso), de (URL – dirección).

Puente, W. (2001, marzo 3). Técnicas de Investigación. Fecha de consulta, 15 de febrero de 2005, de <http://www.rppnet.com.ar/tecnicasdeinvestigacion.htm>

Durán, D. (2004). Educación Ambiental como Contenido Transversal. Fecha de consulta, 18 de febrero de 2005, de <http://www.ecoportal.net/content/view/full/37878>

### Libros Electrónicos

Autor (es) del artículo ya sea institución o persona. Fecha de publicación. Título (palabras más relevantes en cursiva). Tipo de medio [entre corchetes]. Edición. Nombre la institución patrocinante (si lo hubiera) Fecha de consulta. Disponibilidad y acceso.

Ortiz, V. (2001). La Evaluación de la Investigación como Función Sustantiva. [Libro en línea]. Serie Investigaciones (ANUIES). Fecha de consulta: 23 febrero 2005. Disponible en: <http://www.anuies.mx/index800.html>

Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior. (1998). Manual Práctico sobre la Vinculación Universidad – Empresa. [Libro en línea]. ANUIES 1998. Agencia Española de Cooperación (AECI). Fecha de consulta: 23 febrero 2005. Disponible en: <http://www.anuies.mx/index800.html>

### Revistas Electrónicas

Autor (es) del artículo ya sea institución o persona. Título del artículo en cursiva. Nombre la revista.

Tipo de medio [entre corchetes].Volumen.Número.  
Edición. Fecha de consulta. Disponibilidad y acceso.

Montobbio, M. La cultura y los Nuevos Espacios Multilaterales.Pensar Iberoamericano.[en línea]. N° 7. Septiembre – diciembre 2004. Fecha de consulta: 12 enero 2005. Disponible en: <http://www.campus-oei.org/pensariberoamerica/index.html>

### **Referencias de Citas Bibliográficas en el Texto**

Para todas las citas bibliográficas que se utilicen y que aparezcan en el texto se podrán asumir las siguientes formas:

- a) De acuerdo a Martínez, C. (2010), la capacitación de docentes en investigación es tarea prioritaria para la Universidad..
- b) En los cursos de capacitación realizados se pudo constatar que existe una actitud positiva de los docentes hacia la investigación (Fernandez, R. 2012).
- c) En el año 2014, Salinas, M. indica que la de capacitación en investigación es fundamental para despertar en los docentes universitarios, la actitud por investigar.