



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA  
"JUAN MISAEL SARACHO"**



**FACULTAD DE CIENCIAS  
Y TECNOLOGÍA**

# **CIENCIA SUR**

**Vol. 2 N°2 Junio 2016**

**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@ujms.edu.bo](mailto:cienciasur@ujms.edu.bo)

# UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO

## CIENCIA SUR

Revista Facultativa de Divulgación Científica  
Junio, 2016

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

Dr. Carlos Kuncar Justiniano  
**VICERRECTOR**

### **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

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.

**Impresión:** Imprenta Caihuara

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

# EDITORIAL

# EDITORIAL



**L**a Facultad de Ciencias y Tecnología, debe posicionarse como el referente científico y tecnológico del desarrollo regional, para ello cuenta con la infraestructura adecuada, recursos humanos bien formados, recursos humanos en formación y el debido equipamiento.

Con el reto lanzado por nuestras autoridades facultativas y el trabajo coordinado de todas sus instancias de gobierno universitario, estamos más que obligados a servir a nuestra región con el tan ansiado desarrollo sostenible y sustentable.

Para alcanzar y dar respuestas responsables a los diferentes problemas, debemos reafirmar nuestro compromiso de servicio hacia la sociedad, para tal efecto estamos llamados a trabajar unidos tanto autoridades, docentes, estudiantes y administrativos.

Recordemos que la Misión de nuestra universidad dice textualmente: **“Formar profesionales competentes e integrales, que asimilen y transfieran, avance científico – tecnológico de acuerdo a las exigencias del entorno, con criterios de equidad, responsabilidad social universitaria, diversidad cultural y el respeto al medio ambiente.”**

Nuestra querida Facultad debe ser la protagonista de dar estricto cumplimiento a nuestra Misión Universitaria. Una de las formas más importante de dar cumplimiento es la difusión del conocimiento, que nuestra Facultad ha asumido dicho compromiso a través de la Revista Facultativa “CIENCIA SUR”, de esta manera la Facultad, da la oportunidad tanto a docentes y estudiantes de difundir las diferentes investigaciones y/o puntos de vista sobre diversos temas del quehacer del desarrollo tecnológico y/o científico. Mantener viva la revista es nuestra obligación y compromiso, de esta manera será una sana costumbre escribir reportes de investigaciones y opiniones de manera continua durante nuestra permanencia en la Facultad.

Arturo Dubravcic Alaiza  
DOCENTE FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA

# CONTENIDO

	Pag.
Comparación de Modelos Hidrológicos para la Simulación de Caudales Medios Mensuales en la Cuenca del río Tomayapo <b>Ricaldi Torrez Oscar</b>	1
Formulación de una Definición “Dialéctica” de la Ingeniería Estructural y sus Implicaciones en la Formación Profesional <b>Benítez Reynoso Alberto</b>	10
Análisis de la Interacción Suelo-Estructura de Fundación, Mediante el Método de las Diferencias Finitas <b>Ojeda Martínez Leidy Laura</b>	18
Diseño Óptimo de Vigas de Hormigón Armado Sometidas a Flexión Diseño Integral Costo vs Resistencia <b>Álvarez Gozálvez Ernesto</b>	28
Revestimientos con base Entropica, Para la Mancomunidad del Valle Central: Mendez, Cercado, y Uriondo <b>Alvarado Cabello Cinthia Karina</b>	41
Elaboración de Tomate Deshidratado <b>Ortiz Jurado Cynthia Daiana</b>	56
Análisis Comparativo del Contenido de Taninos en Vinos Comerciales de Tarija, Bolivia <b>Arteaga S. María del Carmen, Callisaya A. Juan Carlos, Taquichiri T.Marco, Gutiérrez B. Pastor, Paco S. Joel</b>	67



# **ARTÍCULOS CIENTÍFICOS**

## COMPARACIÓN DE MODELOS HIDROLÓGICOS PARA LA SIMULACIÓN DE CAUDALES MEDIOS MENSUALES EN LA CUENCA DEL RÍO TOMAYAPO

### COMPARISON OF HYDROLOGICAL MODELS TO SIMULATION OF MONTHLY AVERAGE FLOW IN THE BASIN OF THE TOMAYAPO RIVER

Ricaldi Torrez Oscar<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ingeniero Civil – Docente Departamento de Obras Hidráulicas y Sanitarias- Carrera de Ing. Civil, Facultad de Ciencias y Tecnología – Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”

**Correo electrónico:** ricaldi\_oscar@yahoo.com.ar

#### RESUMEN

En el diseño de obras hidráulicas se requiere saber con cierta seguridad la cantidad de agua que pasara en un río en un determinado tiempo, esto se puede solucionar mediante la medición periódica de los caudales que pasan por un periodo suficientemente largo en el que se tome en cuenta periodos de sequía y periodos de mucha lluvia; la cantidad de ríos es numerosa, además se necesita personal, equipo y herramientas de medición para aforar caudales todos los días; estas condiciones no se cumplen en nuestro medio por falta de recursos económicos y poco apoyo de las autoridades de turno; por lo que se recurre al cálculo de caudales mediante ecuaciones matemáticas que reproducen los fenómenos hidrológicos, específicamente mediante la relación que existe entre la precipitación y la escorrentía; pero para la aplicación correcta de estas ecuaciones matemáticas denominado modelos hidrológicos de precipitación escorrentía es necesario conocer, o sea calibrar sus parámetros o coeficientes que dependen de las características particulares de cada cuenca hidrológica.

De los pocos métodos conocidos en nuestro medio para generar caudales medios mensuales tiene más uso el modelo tradicional que hace uso del coeficiente “c” de escorrentía que separa la parte de la precipitación total que se convierte en escorrentía directa. En las últimas décadas se hacen cada vez más populares los modelos hidrológicos matemáticos; este tipo de modelos simplifican los fenómenos hidrológicos de manera que se puedan representar en ecuaciones matemáticas que además de simular la escorrentía también ofrecen datos de evaporación, evapotranspiración, infiltración y escurrimiento subterráneo.

El desconocimiento de los valores de los parámetros de estos modelos para poder ser aplicados en la simulación de caudales medios mensuales con cierta confiabilidad es una causa de la no aplicación en nuestro medio; en el presente trabajo se pretende solucionar este problema proponiendo una metodología para la calibración de estos parámetros, para los cuales se dispone de caudales aforados. Además de la validación y comparación entre modelos se emitirán recomendación para su uso.

En el presente trabajo se compara el modelo que utiliza el coeficiente “c” de escorrentía con los Modelos TEMEZ y THOMAS, estos requieren como principal dato de entrada la precipitación y la evapotranspiración potencial, utilizan parámetros o coeficientes que representan las características propias de la cuenca que interviene en la transformación de la precipitación en escorrentía; los parámetros de este tipo de modelos deben ser calibrados mediante el contraste entre caudales simulados por el modelo con caudales aforados correspondientes a un mismo periodo de estudio; una vez calibrados los parámetros del modelo y si existe una buena correlación o semejanza entre caudales simulados y observados se pueden emplear para generar series históricas de caudales medios mensuales que servirán en el diseño de obras hidráulicas.

**Palabras clave:** cuenca hidrográfica, infiltración, escurrimiento, modelos, calibración

#### ABSTRACT

In the design of hydraulic works is required to know with some certainty the amount of water that happen in a river at a certain time, this can be solved by measuring periodic flows that pass for

a period long enough in which take into account periods of drought and periods of high rainfall; the number of rivers is numerous, also needed personnel, equipment and measurement tools for total flow every day. These conditions are not met in our midst because of lack of economic resources and little support from the authorities of the day; so it is used to calculate flow rates using mathematical equations that reproduce hydrological phenomena, specifically by the relationship between precipitation and runoff; but for the correct application of these mathematical equations known as hydrological models of rainfall runoff is necessary to know, or to calibrate its parameters or coefficients.

Of the few known methods in our midst to generate monthly average flow has more use the traditional model that makes use of the "c" coefficient of runoff that separates the part of the total precipitation that develops in direct runoff. In recent decades are increasingly popular made mathematical hydrological models; This type of models simplify hydrological phenomena so that they can represent in mathematical equations that also simulate the runoff also offer data of evaporation, evapotranspiration, infiltration and underground runoff.

On the ignorance of the values of these model parameters, to be applied in the simulation of flow media monthly with some reliability, it is a cause for not application in our regions. The present work intends to solve this problem by proposing a methodology for the calibration of these parameters, for which volumetric flow rates are available. Recommendation for use shall be issued in addition to the validation and comparison of models.

This paper compares the model that uses the runoff coefficient "c" with the TÉMEZ and THOMAS models, these require as main data input precipitation and potential evapotranspiration, use parameters or coefficients which represent the characteristics of the basin which is involved in the transformation of rainfall into runoff. The parameters of this type of models should be calibrated using the contrast between simulated flow by the model with volumetric flow rate corresponding to a period of study; Once calibrated the parameters of the model and if there is a good correlation or similarity between simulated and observed flows can be used to generate historical series of monthly media flow that will be used in the design of hydraulic works.

**Key words:** River basin, infiltration, runoff, models, calibration

## OBJETIVO GENERAL

Ajustar y comparar los Modelos Hidrológicos de Transformación Precipitación – Escorrentía mediante la calibración de sus parámetros para su aplicación en la estimación de caudales medios mensuales en la Cuenca del Rio Tomayapo tomando como el punto de control la estación hidrométrica ubicada en la comunidad El Molino.

## ALCANCE

**1ra. Etapa.-** Se calibran los coeficientes y parámetros de los modelos hidrológicos aplicados en la cuenca del Rio Tomayapo (provincia Méndez del Departamento de Tarija). En el proceso de calibración/validación se utilizaron 6 periodos continuos de medición de lluvias y caudales a escala mensual (1981 -1987).

**2da Etapa.-** Se realizó un análisis de validación de los parámetros y coeficientes.

**3ra. Etapa.-** se realizó la comparación analítica de los resultados de los modelos

## DESCRIPCIÓN DE LOS MODELOS.-

### Coefficiente "c" de escorrentía.

Es el mas simple y por lo tanto el más usado. Necesita datos de precipitación y conocer el coeficiente de escorrentía. Indica qué porcentaje de la precipitación P se convierte en escorrentía superficial S.

$$C_e = S/P$$

$$S = C P$$

El coeficiente "c" permite inferir el grado de influencia sobre el escurrimiento superficial de distintas variables como: suelo, vegetación y pendiente de la cuenca.

### El modelo Témez

Creado en 1977, modificado y ajustado en varios estudios está siendo muy usado en zonas de España con buenos resultados, en los últimos años su uso también se ha extendido a Chile y otros países de Sud América y puede ser una alternativa más de solución al problema identificado y puede ser comparado con otros métodos usados en nuestro medio.

Este modelo supone dividir el perfil del suelo en una zona superior insaturada, y otra inferior que se halla completamente saturada, asemejando

su comportamiento a un embalse subterráneo que desagua en la red superficial. El modelo contempla el ajuste de 4 parámetros:

- **Hmax:** Capacidad máxima de almacenamiento del suelo (mm)
- **C:** Parámetro de excedente (adimensional)
- **Imáx:** Capacidad máxima de infiltración
- **A:** Coeficiente de recesión del acuífero (1/día)

Con datos de entrada de precipitación y evapotranspiración simula todos los términos del ciclo hidrológico. La aportación total se calcula como la aportación superficial más la aportación subterránea.

### El modelo Thomas

Fue desarrollado en 1981, el cual se conoce también como modelo "abcd". Este modelo hídrico de carácter agregado establece mediante la determinación de cuatro (4) parámetros del caudal afluente en una cuenca. Por la simplicidad de sus ecuaciones y poco requerimiento de información, este modelo es usualmente utilizado con fines académicos, lo cual no le quita validez y puede utilizarse para estudiar cuencas pequeñas (Salas et al., 1981).

Para la explicación del modelo Thomas se debe tener en claro que el suelo está dividido en tres (3) zonas. Una primera parte que es donde se presenta todo lo relacionado al almacenamiento superficial y es representado como  $S_c$ . Para la segunda zona que es la no saturada  $S_w$ , se puede asimilar la recarga que experimenta el acuífero  $R_g$  a la infiltración, debido a que el caudal subsuperficial  $Q_s$  es despreciado por el modelo por ser en comparación con la precipitación, muy pequeño.

La última zona que es la zona saturada presenta un almacenamiento  $S_g$ .

En este modelo los parámetros  $a$ ,  $b$ ,  $c$  y  $d$  describen lo siguiente:

**Parámetro a:** Expresa la tendencia ante la presencia de un suelo que se encuentre completamente saturado y que la escorrentía ocurra,

**Parámetro b:** Representa el límite superior a la suma de la evapotranspiración real y a la humedad.

**Parámetro c:** Hace referencia a esa fracción que se encuentra en el almacenamiento subterráneo que se incluye en la escorrentía, aunque no siempre se relaciona a esta fracción debido a

que no siempre toda la carga se convierte en escorrentía superficial durante el intervalo de tiempo que se considere.

**Parámetro d:** Es el recíproco del tiempo de resistencia del agua subterránea, pero teniendo en cuenta que en ese tiempo puede relacionarse con todo el acuífero, con la porción de esto más cercano al río, o simplemente con recorridos superficiales más rápidos.

El modelo "abcd" es un modelo conceptual de precipitación escorrentía, basado en el balance de agua de una cuenca (Salas, 2002). El modelo utiliza la precipitación como dato de ingreso y todas las demás variables son calculadas como porcentajes de la precipitación.

Finalmente, el caudal es estimado como la suma de la escorrentía superficial y el flujo base:

### UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LAS CUENCAS EN ESTUDIO

Geográficamente la cuenca de aporte se ubica en las comunidades de El Molino, Iscayachi, Campanario, y otras pertenecientes a la Provincia Méndez del Departamento de Tarija.

El punto de estudio para la calibración de los modelos corresponde al punto de aforo ubicado en la estación Hidrometeorológica: El Molino - Tomayapo, ubicado en las siguientes coordenadas:

Lat. S.: 21° 22'30"  
Long. W.: 64° 57'27"  
Altura: 3200 msnm.

### DATOS CON LO QUE SE DISPONE:

#### PRECIPITACIONES

Se emplearán los datos de las estaciones del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) más cercanas al lugar de estudio. Las precipitaciones a emplear en la calibración corresponden al promedio de las estaciones de Sama Cumbre y Sama Iscayachi porque concuerdan con el mismo periodo de observación de los caudales. Todos estos datos se encuentran a disposición del público en el portal del SENAMHI.

#### CAUDALES MEDIOS

Los datos de caudales aforados fueron medidos en la estación Hidrométrica El Molino - Tomayapo, corresponden a los periodos 1978 al 1988. Los datos

con que se cuentan son caudales medios diarios. A partir de estos se determinaron los caudales

medios mensuales. Este dato es indispensable para la calibración y validación de los modelos.

**Tabla 1:** Caudales medios mensuales (m<sup>3</sup>/seg)

Estación: EL MOLINO  
Provincia: MENDEZ  
Departamento: TARIJA

Lat. S.: 21° 22'  
Long. W.: 64° 57'  
Altura: 3.200 m.s.n.m.

CAUDALES MEDIOS MENSUALES (m3/s)													
Año	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	MEDIA
1978-1979	0,159	0,039	1,756	4,787	4,290	1,911	1,147	0,438	0,276	0,142	0,039	0,008	1,25
1979-1980	0,006	0,007	0,733	1,243	1,940	3,728	1,089	0,397	0,218	0,076	0,011	0,006	0,79
1980-1981	0,005	0,003	0,002	0,850	5,411	3,059	0,966	0,352	0,206	0,069	0,012	0,009	0,91
1981-1982	0,011	0,021	0,160	1,028	1,118	3,008	0,675	0,322	0,167	0,035	0,005	0,005	0,55
1982-1983	0,006	0,005	0,039	0,016	0,010	0,003	0,011	0,032	0,013	0,007	0,010	0,004	0,01
1983-1984	0,002	0,001	0,013	7,040	9,238	8,285	2,449	0,218	0,052	0,020	0,019	0,007	2,28
1984-1985	0,007	0,074	0,470	0,061	9,537	3,787	1,098	0,810	0,637	0,160	0,029	0,011	1,39
1985-1986	0,012	5,152	9,703	9,045	4,582	6,124	1,356	0,677	0,274	0,094	0,027	0,017	3,09
1986-1987	0,021	0,045	2,487	0,888	0,570	0,397	0,297	0,277	0,250	0,185	0,147	0,117	0,47
1987-1988	0,125	0,145	0,165	1,456	0,665	12,876	5,846	0,256	0,056	0,037	0,012	0,005	1,80
MEDIA	0,04	0,55	1,55	2,64	3,74	4,32	1,49	0,38	0,21	0,08	0,03	0,02	1,25

### CALIBRACIÓN DE MODELOS

Para la calibración de los modelos se elaboraron planillas en Excel donde los valores dependientes varían automáticamente con el cambio de valores de los parámetros de cada modelo

La metodología de calibración es manual: "prueba – error". Se hacen variar los parámetros del modelo buscando que los caudales simulados sean iguales o parecidos a los caudales aforados.

Para la calibración de los modelos se utilizaron datos

consecutivos de 6 periodos de observaciones de caudales medios mensuales (1981 hasta 1987).

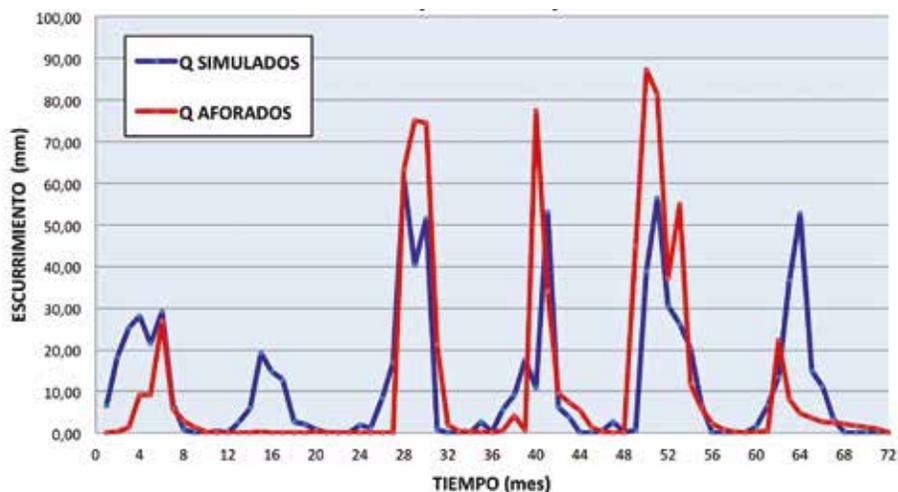
### Calibración del coeficiente "c" de escorrentía

Del proceso de calibración resulta el valor del coeficiente de escorrentía:

$$C = 0.214$$

La forma del hidrograma simulado se asemeja al hidrograma de caudales aforados.

**Figura 1:** Coeficiente "C" de escorrentia hidrograma de caudales simulados vs. caudales aforados (1981 - 1987)



### Calibración del modelo Témez

Del proceso de calibración se obtiene los siguientes parámetros del modelo Témez para generar caudales medios mensuales.

Tabla 2:

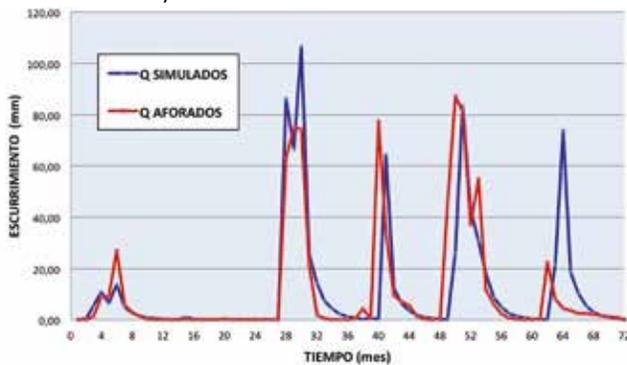
PARAMETRO	SIMBOLO	UNIDAD	VALOR CALIBRADO
Capacidad máxima de almacenamiento de humedad del suelo	Hmax	mm.	127
Capacidad máxima de infiltración	Imax	mm.	190
Parámetro de excedente	C	adimensional	0.57
Coefficiente de recesión del acuífero	a	1/día	+0.02

Además se obtuvieron los valores iniciales de:

Tabla 3:

VARIABLES DEL MODELO	SIMBOLO	UNIDAD	VALOR RECOMENDADO
Humedad inicial en el suelo	(H0)	mm.	0,0
Almacenamiento inicial en el acuífero	(V0)	mm.	0,3

Figura 2: Modelo Temez, hidrograma de caudales simulados vs. caudales aforados (1981 - 1987)



### CALIBRACION DEL MODELO "abcd" THOMAS

Los parámetros resultantes de la calibración del modelo Thomas son los siguientes:

Tabla 4:

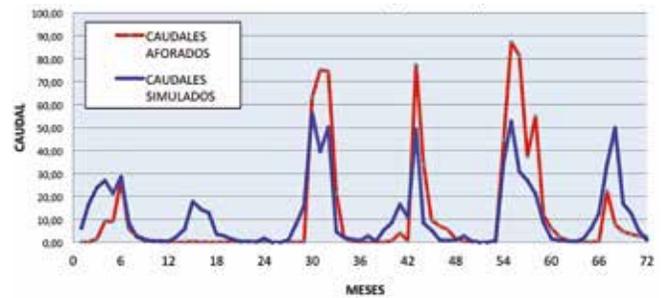
PARAMETRO	VALOR CALIBRADO
a	0.194
b	0.974
c	0.415
d	0.022

Además se puede usar los valores iniciales de:

Tabla 5:

VARIABLES DEL MODELO	SIMBOLO	UNIDAD	VALOR RECOMENDADO
Almacenamiento subterráneo inicial	(GS0)	mm.	0.25

Figura 3: Modelo Thomas, hidrograma de caudales simulados vs. caudales aforados (1981 - 1987)



### VALIDACION DE LOS MODELOS

La validación de cada modelo se lo realizara mediante la comparación entre caudales simulados con los caudales aforados para los mismos periodos.

Medios para la validación:

- a) **Contrastación visual de hidrogramas:** el hidrograma de caudales simulados debe parecerse al hidrograma de caudales aforados para poder validar el modelo.
- b) **Índices de error:** si el error es pequeño indicara que hay poca diferencia entre pares de puntos simulados y aforados.
- c) **Coefficiente de correlación:** El coeficiente de correlación debe ser lo más cercano a uno para validar el modelo

### VALIDACION DEL MODELO QUE USA EL COEFIENTE DE ECORRENTIA "C"

- a) **Contrastación visual de hidrogramas:** El ajuste visual es relativamente aceptable, en 4 periodos los picos coinciden, en el último periodo la diferencia entre los picos es notoria, pero la diferencia más marcada se ve en el segundo periodo donde aparece un pico que no refleja el hidrograma de datos aforados. Esto demuestra que este método no simula con precisión la escorrentía que se produce en años con poca precipitación y tiende a exagerar el escurrimiento.

- b) **Calculo de errores:**

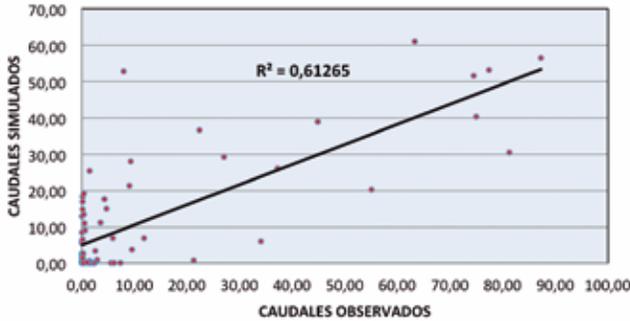
Tabla 6:

FACTOR DE ERROR	MODELO DEL COEFIENTE "C"
ERROR RELATIVO MEDIO	-0.0004
ERROR CUADRATICO MEDIO (RMSE)	16
ERROR ABSOLUTO MEDIO (MAE)	9
ERROR ABSOLUTO MEDIO (NMAE)	28.11
ERROR ABSOLUTO MEDIO (BLAS)	-0.004

Los valores de los errores calculados del contraste entre valores simulados y observados son bajos lo que indica una aceptable capacidad de este método para simular caudales medios mensuales, teniendo cierta prudencia en años secos.

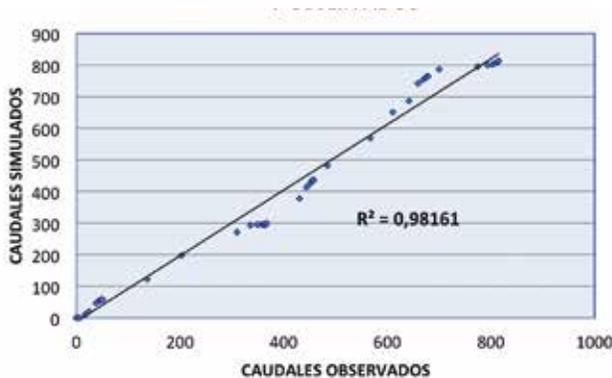
**c) Coeficiente de correlación:**

**Figura 4:** "C": Contraste entre caudales simulados y observados



El coeficiente de correlación no es el ideal, indica que debe usarse el método con prudencia.

**Figura 5:** "C": Contraste entre caudales simulados y observados



Los puntos no se aleja de la curva doble acumulada lo que indica semejanza aceptable entre valores simulados y observados, el coeficiente es alto lo que valida el modelo.

**VALIDACION DEL MODELO TEMEZ**

**a) Contrastación visual de hidrogramas:**

El ajuste visual es buenísimo, los picos coinciden en los meses lluviosos y las recesiones coinciden en ambos hidrogramas en los meses en que no llueve, el segundo periodo que es muy seco presenta baja escorrentía en ambos hidrogramas lo que demuestra un alta capacidad del modelo Témez de representar con veracidad el proceso de transformación: precipitación – escorrentía.

**b) Calculo de errores:**

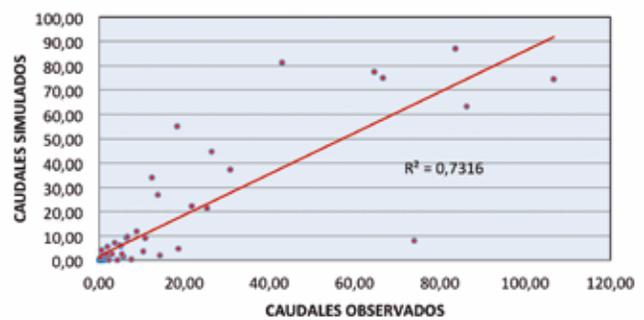
**Tabla 7:**

FACTOR DE ERROR	MODELO TEMEZ
ERROR RELATIVO MEDIO	0,0004
ERROR CUADRATICO MEDIO (RMSE)	17
ERROR ABSOLUTO MEDIO (MAE)	7
ERROR ABSOLUTO MEDIO (NMAE)	2,41
ERROR ABSOLUTO MEDIO (BLAS)	0,005
COEFI. DE CORRELACION	0.73
COEFI. DE CORRELACION (acumulada)	0.98

Los valores de los errores calculados del contraste entre valores simulados y observados son bajos lo que indica una aceptable capacidad del modelo Témez para predecir caudales medios mensuales.

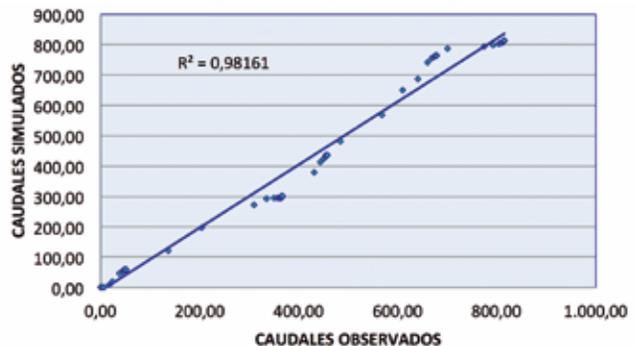
**c) Coeficiente de correlación:**

**Figura 6:** Temez: contraste entre caudales simulados y observados



El coeficiente de correlación es aceptable hay semejanza entre valores simulados y observados, aunque no son iguales.

**Figura 7:** Temez, curva doble acumulada de caudales simulados y observados



Los puntos no se aleja de la curva doble acumulada lo que indica semejanza entre valores simulados y observados, el coeficiente es alto lo que valida aún más el modelo.

**VALIDACION DEL MODELO “abcd” THOMAS**

**a) Contrastación visual de hidrogramas:**

Visualmente se puede ver que existe cierta similitud en 5 periodos, pero no así en el segundo periodo donde el modelo “abcd” Thomas genera un pico que difiere de los caudales aforados. Pese a esto el ajuste es aceptable.

**b) Calculo de errores:**

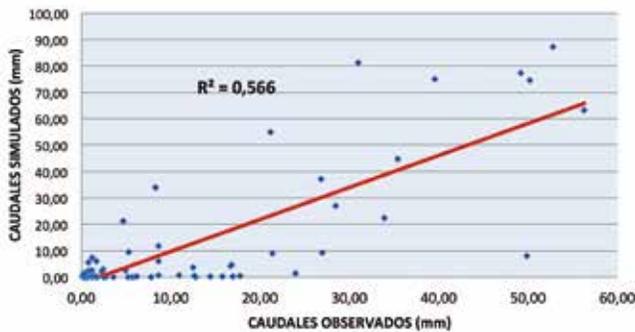
**Tabla 8:**

FACTOR DE ERROR	MODELO ABCD THOMAS
ERROR RELATIVO MEDIO	0,0001
ERROR CUADRATICO MEDIO (RMSE)	14
ERROR ABSOLUTO MEDIO (MAE)	9
ERROR ABSOLUTO MEDIO (NMAE)	28,94
ERROR ABSOLUTO MEDIO (BLAS)	0,001
COEFI. DE CORRELACION	0,57
COEFI. DE CORRELACION (acumulada)	0,97

Los valores de los errores calculados del contraste entre valores simulados y observados son bajos lo que indica una aceptable capacidad del modelo Thomas para predecir caudales medios mensuales.

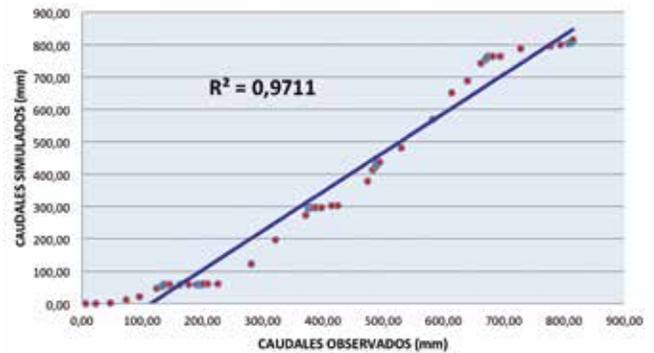
**c) Coeficientes de correlación:**

**Figura 8:** Thomas: Contraste entre caudales simulados y observados



El coeficiente indica baja correlación, hay diferencias notables en algunos pares de puntos, los caudales simulados en algunos casos no se parecen a los observados.

**Figura 9:** Thomas: Curva doble acumulada de caudales simulados y observados



Cuando se acumula los valores la correlación es muy aceptable, analizando todo el periodo de 6 años la diferencias son menores y los valores simulados en la mayor parte del periodo se asemejan a los observados.

**DISCUSIÓN**

**COMPARACION DE DATOS DE ENTRADA**

Para el primer método del coeficiente de escorrentía solo se requiere datos de precipitaciones. Para los modelos Témez y Thomas los datos de entrada son las alturas de precipitación mensuales y temperaturas medias para determinar la evapotranspiración potencial; no se tuvo mayores problemas ya que el SENAMHI cuenta con esta información, en la zona de estudio se dispone de 3 estaciones pluviométricas y una estación climatológica.

**COMPARACION DE ERRORES DE LA CALIBRACIÓN**

**Tabla 9:** Cuadro comparativo

FACTOR DE ERROR	MODELO TEMEZ	MODELO ABCD THOMAS	MODELO DEL COEFICIENTE DE ESCORRENTIA
ERROR RELATIVO MEDIO	-0,0004	0,0001	-0,0004
ERROR CUADRATICO MEDIO (RMSE)	17	14	16
ERROR ABSOLUTO MEDIO (MAE)	7	9	9
ERROR ABSOLUTO MEDIO (NMAE)	2,41	28,94	28,11
ERROR ABSOLUTO MEDIO (BLAS)	0,005	0,001	-0,004
COEFI. DE CORRELACION	0,73	0,57	0,61
COEFI. DE CORRELACION (acumulada)	0,98	0,97	0,98

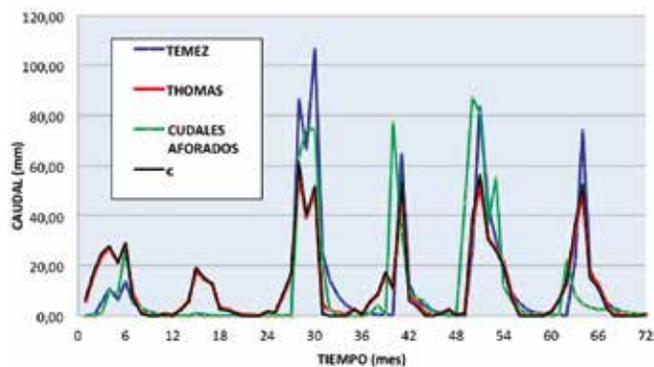
Todos los coeficientes arrojan valores bajos, lo que demuestra un buen ajuste de los tres modelos, de la comparación más exhaustiva se denota que el Modelo Témez lleva la ventaja porque en el ERROR ABSOLUTO MEDIO (NMAE) ( promedio de los valores absolutos de la diferencias entre valores simulados y observados) presenta un valor más bajo, los coeficientes de correlación entre valores simulados y valores aforados confirman

que el modelo Témez reproduce resultados más próximos a los reales; esto se da a razón de que en el segundo periodo de calibración los otros dos modelos hacen aparecer un pico de caudal que no representan los caudales aforados mientras que Témez tiene menos diferencia con los valores aforados (observados).

## COMPARACION APORTACION TOTAL (escurrimiento)

Para realizar esta comparación se sobrepone los caudales simulados por los tres modelos con el Hidrograma de caudales aforados.

**Figura 10:** Comparación de hidrogramas



- La forma general de los Hidrogramas de datos simulados se asemeja al hidrograma de caudales aforados, presenta picos en los meses con lluvia y este se reduce bastante en los meses en que no llueve, esto también denota que los hidrogramas simulan el ciclo hidrológico a escala anual.
- Los tres modelos reproducen muy bien los caudales correspondientes a los meses del año en que no llueve.
- En los picos hay diferencias marcadas:
  - a) En el primer periodo el modelo del coeficiente "c" y Thomas coincide con los aforados, Témez se queda muy bajo.
  - b) En tres periodos consecutivos (3, 4 y 5) Témez se asemeja más a los aforados mientras que el coeficiente "c" y Thomas está por debajo.
  - c) En el último periodo los 3 modelos simulan caudales superiores a los aforados.

Estas diferencias indicadas en los incisos a, b y c en los caudales picos pueden atribuirse a los datos de entrada, principalmente a la precipitación; como sabemos las precipitaciones presentan variaciones reales y temporales; mientras más grande sea la cuenca la variación es mayor. Para tomar en cuenta esta variación en cualquier cálculo hidrológico se debe disponer de varias estaciones pluviométricas

y bien distribuidas en toda la cuenca. Esta última condición casi nunca se cumple por lo que se trabaja con las estaciones disponibles que no siempre representan con precisión la precipitación de toda una cuenca.

- El segundo periodo es el más interesante de analizar, la precipitación en ese año hidrológico es muy baja, esto se corrobora con otras estaciones de otras cuencas que también denotan un año seco. Como es de esperarse los caudales aforados también arrojan valores mínimos que indican un año seco. Témez coincide casi con exactitud con los caudales aforados, mientras que el modelo del coeficiente "c" y el modelo Thomas genera un pico que no existe en el hidrograma de caudales aforados. Esto se explica con el fundamento de que la poca precipitación existente se transforma en evapotranspiración, infiltración que recarga el acuífero dejando muy poco para el escurrimiento directo y subterráneo. El coeficiente "c" de escorrentía y Thomas minimiza estas pérdidas dando mayores valores de escurrimiento. Este aspecto indica que Témez reproduce mejor los caudales medios mensuales sin importar la variación de precipitación.

## CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos se puede evidenciar que el modelo Témez se ajusta mejor a las condiciones hidrológicas de esta zona ya que los caudales simulados tienen mucha semejanza con los reales aforados tanto para años lluviosos como para años poco lluviosos; resulta muy aplicable para zonas con mucha variación pluviométrica.

Esto no quiere decir que los otros modelos no sean buenos, estos también mostraron buen ajuste, pero simula caudales sobreestimados en los periodos de poca precipitación lo que la hace menos aplicable para zonas con mucha variación pluviométrica.

El periodo de calibración es de 6 años lo que es muy representativo, durante este periodo se tiene caudales altos y bajos lo que representó un verdadero reto para los 3 modelos ya que tiene el poder de reproducir esa variedad de caudales con aceptable precisión.

Como puede observarse, los tres modelos muestran un importante ajuste al flujo base pero una importante deficiencia en la representación de flujos pico. Dependiendo del uso que se le dará al modelo, los parámetros de condiciones iniciales pueden ser ajustados de manera tal que se

pueda obtener un mejor ajuste del flujo base (en desmedro de los caudales pico) o de los caudales pico (con menor ajuste del flujo base). Por lo mismo el método no se debe aplicar a caudales máximos, solo para simular caudales medios.

Del análisis de los resultados obtenidos se concluye que los tres modelos tienen la capacidad de simular caudales medios mensuales con semejanza a los valores observados (aforados), no se puede negar que existe diferencias pero están dentro de un rango aceptable, por lo que se puede decir que son aplicables a nuestro medio, los parámetros obtenidos se puede utilizar para la generación de series de caudales medios mensuales a partir de sus precipitaciones medias mensuales correspondientes.

Como conclusión final podemos afirmar que los tres modelos son aplicables en nuestro medio tomando en cuenta las consideraciones resaltadas en el presente trabajo las cuales se resumen en los dos siguientes párrafos:

- Si solo interesa simular aportaciones totales (caudales medios mensuales) el modelo del coeficiente "c" de escorrentía y el modelo Thomas se puede usar solo teniendo en cuenta que la variación de la precipitación no sea muy elevada de periodo a periodo.
- Si además de aportaciones totales, interesa conocer valores de evapotranspiración, infiltración, aporte superficial, aporte subterráneo, y almacenamiento subterráneo se puede recurrir al Modelo Témez, el cual bien puede ser usado en balances hidrológico de cuencas sin la restricción de la variación pluviométrica.
- Los valores obtenidos como el de cualquier otro modelo son aproximaciones a la realidad que tiene un fundamento teórico y mediciones reales de algunas variables importantes que lo respaldan, de ninguna manera son valores 100% exactos, por eso deben ser usados con cautela previa evaluación de los resultados.

## RECOMENDACIONES

- De entre los dos modelos se recomienda el uso del modelo Témez para la generación de caudales medios mensuales sin importar la variabilidad de la precipitación.
- Se recomienda el uso del Modelo "abcd" Thomas para la generación de caudales medios mensuales cuando la variación de la precipitación es mínima.
- Se recomienda el uso del Modelo Témez para realizar balances hidrológicos en cuencas.

- Se debe promover la calibración de los 3 Modelos en varias zonas del país a fin de tener información de comparación de cómo varían los parámetros con las diferencia de suelos, vegetación, altura sobre el nivel del mar, etc.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aparicio, F.J. (1999) Fundamentos de Hidrología de Superficie. Limusa, México, D.F.
- Cabrera Juan Modelo abcd – Simulación de caudales anuales, Universidad Nacional de Ingeniería. UNI - Lima
- Centro de Estudios Hidrográficos (CEH), (2002). Implementación del modelo hidrológico de Témez para la evaluación de recursos hídricos con grass gis. fase superficial y subterránea. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), Madrid.
- Chow, Ven Te (1964) Handbook of Applied Hydrology. McGraw-Hill, New York.
- González C.R., Yil L. M, Curiel L. D. (2003). Metodología de la Investigación Científica para las Ciencias Técnicas 2da. Parte: Organización y Ejecución de la Investigación Universidad de Matanzas
- Linsley, R.K. Jr.; Kohler, M.A.; Paulhus, J.L.H. (1949) Hidrología para Ingenieros. McGraw-Hill. New York
- Pizarro T. R. (1995). Calibración y validación de Modelos de Simulación Integral Hidrológica, en cuencas húmedas y semiáridas de Chile Central. Prof. Asociado Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Talca, Chile.
- Ponce V. M. (1989) Modelos Hidrológicos. "Engineering Hydrology", Editorial Prentice Hall.
- Villon Bejar M. Hidrología
- Wenndor Ch. Hidrología para Ingenieros Civiles

## FORMULACIÓN DE UNA DEFINICIÓN "DIALÉCTICA" DE LA INGENIERÍA ESTRUCTURAL Y SUS IMPLICACIONES EN LA FORMACIÓN PROFESIONAL

### FORMULATION OF A DEFINITION OF "DIALECTIC" OF THE STRUCTURAL ENGINEERING AND ITS IMPLICATION IN THE VOCATIONAL TRAINING

Benítez Reynoso Alberto<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ingeniero Civil, M.Sc., M.E., Ph.D. - Docente Departamento de Estructuras – Carrera de Ing. Civil Facultad de Ciencias y Tecnología - Universidad Autónoma "Juan Misael Saracho"

**Correo electrónico:** al\_be\_rey@hotmail.com - benitez1@entelnet.bo

#### RESUMEN

Este trabajo de investigación constituye una pequeña parte de los resultados de la Tesis de Doctorado en Ciencias Mención Ingeniería Civil (Estructural) titulada Dialéctica de la Ingeniería Estructural (UNSXX, Convenio Andrés Bello, 2013). Se plantea el problema expresado en términos de rol de la Ingeniería Estructural en la sociedad, la formación actual del Ingeniero Civil y del Ingeniero de Estructuras en relación a su contribución al deterioro del medio ambiente y la calidad de los recursos naturales, se perfila una aproximación genealógica de la dialéctica hasta la propuesta por Hegel, se formula una nueva definición, una definición dialéctica de la Ingeniería Estructural en términos de la triada Tesis-Anfítesis-Síntesis, se precisan algunas de las implicaciones de esta nueva definición en la formación del Ingeniero Estructural y se formulan las conclusiones respectivas.

**Palabras clave:** Ingeniería Estructural, dialéctica, genealogía, formación profesional, currículum.

#### ABSTRACT

This research paper is a small part of the results of Doctoral Thesis in Sciences – Civil Engineering (Structural), titled Dialectics of Structural Engineering (UNSXX, "Convenio Andrés Bello", 2013). The problem is expressed in terms of role of Structural Engineering in the society, the formation of Civil and Structural Engineer related to his contribution to damage of environment and natural resources quality, a genealogy of dialectics is stated as an approximation to the proposed by Hegel, a new definition, a dialectic definition of Structural Engineering is formulated on the dialectics basis, some implications on formation of Structural Engineer are specified and the related conclusions are formulated.

**Key words:** Structural Engineering, dialectics, genealogy, professional formation, curriculum.

#### INTRODUCCIÓN

Las funciones principales de la Ingeniería Estructural y sus protagonista principal, el ingeniero de estructuras, consisten en el estudio, diseño, análisis, cálculo, dirección y construcción de todo tipo de estructuras y sistemas estructurales tales como puentes, edificios, presas, etc. (Benítez, 2008 y 2005).

Casi todos los perfiles profesionales del ingeniero de estructuras, definidos en las instituciones de educación superior, le asignan a este profesional las funciones de planificar, analizar, diseñar, dirigir y construir estructuras, las cuales, compuestas por unidades elementales, forman sistemas estructurales más complejos como los mencionados en el párrafo precedente.

Existe un acuerdo generalizado que las actividades fundamentales del ingeniero civil, dedicado a las estructuras (ingeniero de estructuras), son el análisis y diseño estructuras. Sin embargo, Norris y Wilbur (1982) consideran que el rol fundamental, al menos del ingeniero dedicado a los estudios y proyectos, es el de diseñar estructuras, las que, como paso previo, requieren el análisis.

En general, un plan de estudios de ingeniería civil contempla cuatro grupos de asignaturas, a saber:

- 1) Las asignaturas que corresponden a las ciencias puras o básicas, es decir, física, matemáticas y química.
- 2) Un grupo de ciencias aplicadas, que inician al estudiante en las funciones fundamentales del ingeniero, entre estas se tienen a la mecánica del medio continuo, estática aplicada, resistencia o mecánica de los materiales,

- hidráulica, mecánica de los suelos, teoría de la elasticidad, entre otras.
- 3) Las llamadas asignaturas de especialidad entre las que se encuentran hormigón armado, estructuras metálicas y de madera, puentes, hormigón pre-esforzado y estructuras hidráulicas, para citar algunas.
  - 4) Las asignaturas denominadas complementarias como ingeniería económica, ingeniería legal, urbanismo, sistemas de ingeniería y otras; éstas últimas, como su nombre lo indica, complementan la formación del ingeniero civil y estructural.

Estas asignaturas son una constante, desde hace muchísimos años, prácticamente en los planes de estudios de todas las universidades con diferencias principalmente de forma. Con esta formación, el ingeniero ha diseñado y construido obras desde las más simples hasta las más espectaculares.

Sin embargo, en el contexto descrito y tomando en cuenta el perfil del ingeniero estructural, vigente en la actualidad en casi todas las universidades del planeta, es prudente preguntarse:

La ingeniería estructural y su protagonista principal, el ingeniero de estructuras, además de contribuir al desarrollo de las sociedades, diseñando y construyendo sistemas estructurales simples y complejos, ¿No han contribuido, también, al deterioro del medio ambiente y la disminución de la calidad de los recursos naturales?. ¿Cómo dar un primer paso conducente a reformular los planes de estudios de la Ingeniería Estructural, de manera que, se tenga un perfil del Ingeniero de Estructuras adecuado a los tiempos actuales y que contemple, por ejemplo, el concepto de desarrollo sostenible?.

Naturalmente, las dos preguntas mencionadas tienen que ver con el objeto de estudio, las leyes, los métodos, medios, metodologías, y procedimientos empleados por el Ingeniero de Estructuras para alcanzar sus objetivos, lo cual significa, entre otras cosas, filosofar sobre la Ingeniería Estructural, lo que se hace difícil ante la carencia de escenarios y medios que permitan realizar esta importante tarea.

La problemática planteada nos permite definir los objetivos del presente artículo a saber:

- Formular una nueva definición, una definición "dialéctica" de la Ingeniería Estructural, como un primer paso que conduzca a modificar la formación y, consecuentemente, las funciones de la Ingeniería Estructural.

- Precisar algunas implicaciones de esta nueva definición en el ámbito de la enseñanza de la Ingeniería Estructural y el rol del Ingeniero de Estructuras en el desarrollo de las sociedades.

A decir de Bachelard (1993), "La ciencia, suma de pruebas y de experiencias, de reglas y de leyes, de evidencias y de hechos, necesita, pues, una filosofía con dos polos. Más exactamente, necesita un desarrollo dialéctico, porque cada noción se esclarece en forma complementaria con dos puntos de vista filosóficos diferentes".

La Ingeniería Estructural, compuesta de varias ciencias, tanto puras como aplicadas, además de formar parte de la tecnología, no está fuera de esta afirmación. En este contexto, consideramos que la formulación de una nueva definición de la Ingeniería Estructural, empleando la dialéctica, puede constituir un primer paso relevante conducente provocar reflexiones mucho más profundas.

## APROXIMACIÓN GENEALÓGICA DE LA DIALÉCTICA

En realidad, la genealogía es la acción de indagar sobre los orígenes familiares para establecer un árbol genealógico. Nietzsche utiliza la genealogía para rastrear los orígenes de determinados conceptos, tal es el caso de su "genealogía de la moral", que tiene por objeto demostrar que las opiniones recibidas sobre las fuentes de la moralidad están equivocadas y que, desde el punto de vista histórico, conceptos tales como la bondad moral, la culpabilidad, la piedad y la abnegación se han originado a partir de sentimientos rencorosos contra los demás o contra uno mismo. (Nietzsche, 2007). Posteriormente, Foucault (2008), retoma la genealogía de Nietzsche y expone cómo la genealogía es un estudio de archivos y documentos que busca en una historia no lineal y discontinua, la forma como esta se reescribe a sí misma.

Con ese marco referencial, se expone, a continuación, una aproximación genealógica, breve, de la dialéctica, basada en Rod (1977), Hegel (2000, 1987, 1986), Engels (1978), Gadamer, 2007 y Lefèbvre (1999).

Podemos comenzar estableciendo que la dialéctica es un proceso en el cual se suponen dos protagonistas, que pueden ser dos principios, dos conceptos, dos fenómenos, dos términos o dos actividades. Un rastreo sobre el comienzo de la dialéctica nos lleva a establecer que, desde un punto de vista histórico y en su significación más concreta, comprende las acepciones que se sintetizan en los párrafos que siguen.

Para Platón la dialéctica, derivada de diálogo, es un método inductivo y sintético, una especie de técnica de investigación, que se realiza por medio de cierta colaboración entre dos o más personas, porque la filosofía para Platón no es precisamente un asunto privado, sino la obra de un grupo de hombres que discuten problemas fundamentales. Así pues, corresponde al punto más elevado en que puede llegar una investigación bien dirigida. Platón afirma en La República la naturaleza de la dialéctica, concibiéndola como un procedimiento que se remonta a la idea, como punto de partida que ha de finalizar en la conclusión. Lo anterior corresponde al primer momento del proceso dialéctico platónico, que consiste en compactar en una sola idea o noción aquello que resulta disperso o contradictorio, para después definir la idea precisa y hacerla susceptible de comunicarse. El segundo proceso, desarrollado en detalle en los diálogos posteriores como El Fedro o El Sofista, corresponde al método de la división, que consiste en dividir sucesivamente la idea en todas sus vertientes posibles, evitando la confusión entre formas distintas. La caracterización más simple de la dialéctica platónica es aquella en la que, una vez definida la idea, se separa ésta en dos partes (derecha e izquierda), cada una caracterizada por la presencia o la ausencia de un determinado carácter; sucesivamente ambas partes se dividen a su vez en derecha e izquierda, deteniéndose el procedimiento en un punto determinado.

En la filosofía de Aristóteles la dialéctica presenta a la pregunta como alternativa; llama silogismo dialéctico a aquél que parte no de premisas verdaderas sino probables, que son generalmente admitidas. Para Aristóteles, el precursor de esta concepción era Zenón de Elea, en su tesis sobre la refutación del movimiento. A nivel histórico tal concepción sería un tanto olvidada por la Escolástica temprana hasta el siglo XII; ejemplo de esto son las concepciones de Pedro Hispano o Juan de Salisbury, que ven a la dialéctica como "ciencia de las cosas probables". Pero sería Kant el que habría de retomar tal concepción, presente en su Crítica de la razón pura (Dialéctica trascendental), y que corresponde a una "lógica de la apariencia", pues según él ésta se fundamenta en principios subjetivos, haciéndolos parecer por objetivos, pues como dejó ver en su obra: todo juicio sintético a priori es indemostrable, además de entender a la dialéctica como un procedimiento sofístico.

Los Estoicos consideraban a la dialéctica como aquella parte de la lógica que no es retórica, la cual apelaba al razonamiento para a partir de lo más comprensible, hacer claro lo no comprensible.

Así, la dialéctica se entendía como aquella ciencia de la discusión recta, donde la demostración consiste en servir a las cosas más comprensibles para explicar las menos comprensibles. Para los Estoicos, la base de una demostración se apoya en los razonamientos anapodícticos (los no demostrables), los cuales son inmediatos, es decir, un razonamiento anapodíctico corresponde a la base de los demás razonamientos. Además, todo razonamiento era para los estoicos aquel que consta de premisas y de conclusión, siendo en sí mismo un silogismo, pues a su vez, la lógica la entendían como la teoría de los signos y de las cosas significadas. Incluso Cicerón adoptaría este sentido de la dialéctica, pues la entendía como el arte de definir, aclarar, distinguir, para finalmente obtener una regla que juzgue lo verdadero de lo falso.

Así, se llega a la síntesis de los opuestos. Este principio ya había sido establecido por Fichte (el Yo y el No-yo como opuestos), pero sería desarrollado por Hegel, para el cual la dialéctica es la naturaleza misma del pensamiento. "En su carácter peculiar, la dialéctica es, por el contrario, la propia y verdadera naturaleza de las determinaciones intelectuales de las cosas y de lo finito en general." Es, por tanto, la resolución de las contradicciones, en la que queda envuelta la realidad finita, que es objeto del entendimiento; así, la naturaleza de la realidad es dialéctica. "La dialéctica forma, pues, el alma motriz del progreso científico, y es el principio por el cual solamente la conexión inmanente y la necesidad entran en el contenido de la ciencia...". Porque aquello que resulta de la dialéctica no son conceptos abstractos, sino "pensamientos concretos", es decir, realidades verdaderas y propias.

Hegel distingue tres momentos del proceso dialéctico: momento intelectual (donde se está en posesión de un concepto "abstracto y limitado"), momento dialéctico (supresión del concepto, considerado finito, dando paso a su opuesto), y momento especulativo o positivo (la síntesis de las dos determinaciones u opuestos); los cuales corresponden a tesis, antifétesis y síntesis, respectivamente. Finalmente, cabe resaltar que Hegel tuvo su antecedente en Heráclito, para el cual lo absoluto corresponde a la "unidad de los opuestos", como una realidad objetiva o "inmanente al objeto". Basta señalar aquí que la dialéctica de Hegel es una dialéctica de esencias; por algo es una ontología que disuelve la esencia en la unidad de lo idéntico y lo no-idéntico (el ente y el no-ente), pero toda ontología mantiene un carácter que la hace estar exenta de justificación, que rehúye en cierta forma el problema del

conocimiento. “Sin embargo, Hegel como Kant y toda la tradición, incluido Platón, toma partido por la unidad. La negación abstracta de ésta tampoco cuadra con el pensamiento.” (Adorno, 2011: 153). No cuadra con el pensamiento pues la no-identidad es la diferencia de la identidad, no su contraria, por algo no son sustantivos, sujetos opuestos, y así, no hay síntesis, en la visión de Hegel.

Puesto que la metodología usada en este artículo se sustenta en la Tesis-Antítesis-Síntesis, nuestra breve genealogía de la dialéctica termina aquí. Sin embargo, debemos establecer con claridad que, posteriormente llega la dialéctica tal y como fue concebida por Marx y Engels, particularmente la referida a las tres leyes (ley de la cualidad y la cantidad, ley de interpenetración de contrarios y ley de negación de la negación), así como los conceptos acuñados por Adorno (2011) y Horckheimer y Adorno (1998) en sus dialéctica negativa y dialéctica de la ilustración, respectivamente.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para la formulación de la nueva definición de la Ingeniería Estructural, se ha usado el método dialéctico de Hegel, que se sintetiza en los párrafos siguientes.

¿Cuál es el método dialéctico?, ¿en qué consiste o cómo es el movimiento racional por el que la Idea se desarrolla?. Sintetizamos, a continuación, el método dialéctico, basado en la Tesis-Antítesis-Síntesis, tal y como fue concebido por Hegel (Valverde, 1979).

Para Hegel, el encadenamiento lógico entre los momentos de la realidad (que también llama esencias) consiste en una disposición ternaria tal que dos esencias contrarias se atraen o se implican necesariamente la una a la otra, y de ello resulta la existencia de una tercera, que contiene de modo superior y eminente, la perfección de las dos primeras, después de haberlas superado. Luego, el proceso vuelve a comenzar para esta tercera esencia que implica también otra esencia contraria suya, forma de ambas otra superior y así sucesivamente. Es lo que Hegel llama movimiento “dialéctico” o “especulativo”. Los dos primeros momentos o esencias se corresponden con dos conceptos (equivalentemente dos realidades) frente a frente: **tesis y antítesis**. Pero, ambos se necesitan porque se complementan y por eso se reclaman y se exigen mutuamente, tienden a fundirse y reconciliarse y, al hacerlo, resulta un nuevo concepto (una nueva realidad) que comprende los conceptos (las realidades)

anteriores en un tercer término, más rico que los dos anteriores. Es la **síntesis**. Esta a su vez se hará tesis, porque a ella, por ser también limitada, se le opondrá una negación o antítesis; de ambas surgirá una nueva síntesis y así sucesivamente. Se puede decir que la tríada tesis-antítesis-síntesis significa una acción que es suprimir-conservar-elevar, de forma que el término resultante de la acción es más rico que los anteriores y los conserva elevados después de negarlos. Así pues, nada se pierde; todo se conserva y se sublima.

Invirtiendo la postura de Hegel, Marx construye una dialéctica en torno a la materia (no a la idea), cuya finalidad no es la simple teorización y justificación de la realidad, sino su transformación. Así como Marx había buscado las leyes que explican la historia humana (materialismo histórico), Engels busca las leyes generales que dan inteligibilidad a las ciencias de la naturaleza (materialismo dialéctico).

Para Engels no basta concebir la dialéctica como constituida por la tríada: tesis-antítesis-síntesis. La dialéctica se fundamenta en tres leyes, elaboradas por Engels en su materialismo dialéctico, que no son empleadas en este trabajo.

En todo caso, sabiendo que estas tres leyes de la dialéctica permiten la interpretación de muchos fenómenos, problemas y principios de la Ingeniería Estructural, en este trabajo se usa, como método, solamente la dialéctica según la tríada TESIS-ANTÍTESIS-SÍNTESIS, resumida más arriba.

## RESULTADOS: DEFINICIÓN “DIALÉCTICA” DE LA INGENIERÍA ESTRUCTURAL

Cuando realizamos una caracterización de la Ingeniería estructural, con matiz filosófico (Benítez 2005 y 2001), uno de los elementos fundamentales que abordamos fue la definición de la Ingeniería Civil y, como parte de ella, de la Ingeniería Estructural. Después de analizar profundamente esta rama de la Ingeniería, reflexionar sobre su papel en la práctica histórico-social en relación a la respuesta a las diferentes demandas de la humanidad a lo largo de la historia, sus métodos propios para diseñar, la práctica en concebir y materializar (construir) estructuras, su posición en el contexto científico y otros aspectos inherentes a su filosofía, además de asociarla con las leyes de la dialéctica, presentamos, a continuación, las definiciones de la Ingeniería Estructural en términos dialécticos, particularmente usando la tríada que se conoce con el nombre de TESIS - ANTÍTESIS - SÍNTESIS.

La Ingeniería Civil es, sin lugar a dudas, la más antigua, la más universal, la más clásica y la más relacionada con la sociedad de todas las ramas de la Ingeniería. La Ingeniería Estructural, una rama de la Ingeniería Civil, puede definirse, como una ciencia aplicada porque aplica fundamentalmente las leyes de la mecánica, pero, al mismo tiempo es una tecnología porque utiliza el conocimiento científico, agregando nuevos conocimientos, para planear acciones de interés social utilizando criterios de optimización, es decir, máximo aprovechamiento y seguridad a costo mínimo. Estas acciones consisten en el estudio, diseño, análisis, cálculo, dirección y construcción de todo tipo de estructuras y sistemas estructurales, desde los más simples hasta los más complejos, tales como puentes, edificios, presas, muros de sostenimiento, estructuras de pavimentos, depósitos, teleféricos, etc. (Benítez, 2005 y 2001). Esta es una definición que refleja el pensamiento actual sobre la rama de la ingeniería que estamos tratando y que llamaremos TESIS, en términos dialécticos.

Ahora bien, para nadie es desconocido que una parte muy importante de los problemas medioambientales, en relación a su deterioro, han sido generados por la construcción de obras públicas y privadas tales como presas, carreteras, edificios, etc., dentro de las cuales, la Ingeniería Estructural y los sistemas estructurales inherentes juegan un rol fundamental. Lo mismo se puede decir de la preservación de los recursos naturales y la biodiversidad, que están absolutamente relacionados con el medio ambiente y sus diferentes componentes.

Una pregunta muy importante con relación a las estructuras y sistemas estructurales, como objetos de la Ingeniería Estructural, es la siguiente:

¿Cuánto contamina una estructura o un sistema estructural de Ingeniería Civil?

Habitualmente se tiene la idea de que un sistema estructural (puente, edificio, presa, etc.) contamina más a lo largo de su vida útil que durante sus diferentes fases o etapas de construcción. La mayor parte de las normas y códigos de diseño y construcción se concentran en la etapa de la vida útil de la estructura, dejando de lado la tecnología y los procesos constructivos. Por cada metro cuadrado habitable construido en un edificio convencional se requieren aproximadamente 2.3 toneladas de materiales y, cuando se consideran los recursos afectados por el proceso de fabricación de los materiales esta cifra se triplica (Álvarez, 2009).

Los estudios LCA (Life Cycle Assessment) realizados sobre una edificación han arrojado resultados importantes; así, se establece que la cantidad de energía necesaria para construir una edificación varía desde un 2% hasta un 46%. Estos datos reflejan que el proceso de construcción de una edificación no debe ignorarse ni evitarse en el momento de la Evaluación de los Impactos Ambientales (Zabala, I.; Aranda, U. y Scarpellini, S.; 2009).

En el contexto sintetizado en los párrafos que preceden, planteamos, como ANTÍTESIS, la siguiente definición:

La Ingeniería Estructural, una rama de la Ingeniería Civil, puede definirse, como una ciencia aplicada porque aplica fundamentalmente las leyes de la mecánica, pero, al mismo tiempo es una tecnología porque utiliza el conocimiento científico, agregando nuevos conocimientos, para planear acciones de interés social utilizando criterios de optimización, es decir, máximo aprovechamiento y seguridad a costo mínimo. Estas acciones consisten en el estudio, diseño, análisis, cálculo, dirección y construcción de todo tipo de estructuras y sistemas estructurales, desde los más simples hasta los más complejos, tales como puentes, edificios, presas, muros de sostenimiento, estructuras de pavimentos, depósitos, teleféricos, etc., que afectan negativamente a la naturaleza y contaminan el planeta, de manera que se hace inútil y dañino para la vida humana y las demás formas de vida.

A partir de la incorporación de la dimensión ambiental en el diseño y ejecución de los proyectos de desarrollo, como los mencionados en el párrafo precedente, la decisión de los gobiernos de los países del planeta de proteger el medio ambiente y los recursos naturales de la tierra, mediante acuerdos adoptados en sendos eventos de carácter internacional y multilateral, surgen una serie de filosofías, doctrinas, metodologías, criterios, normas legales, etc., que tienden a minimizar los impactos negativos en el medio ambiente por parte de las obras públicas y sistemas estructurales, tomando en cuenta, como elemento fundamental de un proyecto de desarrollo, el concepto y principios del llamado desarrollo sostenible. Es así, que a lo largo de los últimos años se han desarrollado guías e instrumentos para evaluar la contaminación ambiental provocada por los sistemas estructurales y sus procesos constructivos.

Algunos países han dado pasos importantes sobre la Evaluación de los Impactos Ambientales provocados por las estructuras de construcción. Por ejemplo, la norma española EHE 08 incluye

un anejo exclusivo dedicado a la evaluación de la sostenibilidad de las estructuras. Esta norma establece los criterios y metodologías para la determinación de ICES (Índice de Contribución de la Estructura a la Sostenibilidad), a partir del llamado ISMA (Índice de Sensibilidad Medioambiental) y provee los procedimientos necesarios para realizar los cálculos. Al tratarse de estructuras de hormigón armado, considera los siguientes aspectos o elementos componentes de una estructura de este tipo: características medioambientales del hormigón, características medioambientales de las armaduras (acero), optimización del armado de los elementos, optimización ambiental del acero, nivel de control de la ejecución, empleo de áridos reciclados, optimización del cemento, optimización del hormigón, medidas específicas para el control de los impactos, medidas específicas para gestionar los residuos y medidas específicas para gestionar el agua.

Hay otros desarrollos teórico-metodológicos importantes con relación a las estructuras de otros materiales tales como el acero, por ejemplo, Gervásio (2008) se refiere a la sustentabilidad del acero y las estructuras metálicas, haciendo un análisis coherente sobre la construcción sustentable, los materiales de construcción, la energía consumida por el proceso de fabricación del acero, los impactos ambientales producidos por este material, las estrategias de preservación ambiental y establece herramientas para la evaluación de la sustentabilidad, aplicando las mismas a casos de la realidad práctica concreta.

En fin, en el ámbito de la construcción de sistemas estructurales, se puede afirmar, sin lugar a dudas, que los desarrollos metodológicos respecto a la evaluación de impactos ambientales y las medidas para su mitigación, son relativamente nuevos y se esperan importantes avances en el futuro.

En el caso boliviano, si bien no existen guías, normas u otros instrumentos específicos, relativos a la evaluación de impactos ambientales generados por las estructuras de construcción, la Ley 1333 y sus reglamentaciones específicas, establecen con claridad las fases y elementos inherentes a la gestión ambiental de las actividades, obras y proyectos. Concretamente, estos instrumentos legales indican que ninguna actividad, obra o proyecto puede iniciarse sin contar con la licencia ambiental correspondiente. Otro instrumento legal importante es la ley No 300 del Estado Plurinacional de Bolivia o "Ley marco de la madre tierra y desarrollo integral para vivir bien".

En ese marco, formulamos una nueva definición de Ingeniería Estructural, que considere, como SÍNTESIS de las dos anteriores (TESIS y ANTÍTESIS), los aspectos mencionados, particularmente el concepto de desarrollo sostenible.

La Ingeniería Estructural, una rama de la Ingeniería Civil, puede definirse, como una ciencia aplicada porque aplica fundamentalmente las leyes de la mecánica, pero, al mismo tiempo es una tecnología porque utiliza el conocimiento científico, agregando nuevos conocimientos, para planear acciones de interés social utilizando criterios de optimización, es decir, máximo aprovechamiento y seguridad a costo mínimo. Estas acciones consisten en el estudio, diseño, análisis, cálculo, dirección y construcción de todo tipo de estructuras y sistemas estructurales, desde los más simples hasta los más complejos, tales como puentes, edificios, presas, muros de sostenimiento, estructuras de pavimentos, depósitos, teleféricos, etc., destinados a satisfacer las demandas de las sociedades actuales, preservando las necesidades de las sociedades futuras y minimizando las afectaciones e impactos al medio ambiente y los recursos naturales.

De esta manera, esta última definición de la Ingeniería Estructural considera y fusiona las dos primeras y las supera en los términos de la dialéctica. Lo más probable es que esta nueva definición, cambie gradualmente o repentinamente con el tiempo, cuando los paradigmas o modelos de la Ingeniería Estructural, además de los materiales, teorías, metodologías, etc., también experimenten revoluciones tal como establece la propia dialéctica.

Es decir, esta última definición probablemente sea la TESIS de una próxima ANTÍTESIS, lo que ha de generar una nueva síntesis y así sucesivamente continúa el movimiento o desarrollo del pensamiento en función del desarrollo de la práctica histórico-social concreta.

## IMPlicACIONES EN LA FORMACIÓN PROFESIONAL

Una vez alcanzado el primer objetivo, a saber: formular una nueva definición, una definición dialéctica de la Ingeniería Estructural, corresponde, ahora, precisar algunas de las implicaciones que tendría esta nueva definición en el ámbito de la formación profesional.

El término "currículum", muy usado en el campo educativo tiene, en la actualidad más de cien definiciones, que reflejan diferentes visiones sociopolíticas de la educación, de la institución

educativa, del conocimiento, del cambio social, así como de la manera de entender la relación entre la teoría educativa y la práctica pedagógica. La polisemia del término se refleja en su uso indistinto para referirse a planes de estudio, a programas docentes, a su instrumentación didáctica, entre otros. En todo caso, el currículum se identifica con los objetivos de la enseñanza, el plan de estudios, el contenido y todo lo que ocurre en la realidad educativa (González, et. al, 2003).

Una de las propuestas de definición establece al término "currículum" como "un proyecto de formación y un proyecto de realización a través de una serie estructurada y ordenada de contenidos y experiencias de aprendizaje, articulados en forma de propuesta político-educativa que propugnan diversos sectores sociales interesados en un tipo de educación particular, con la finalidad de producir aprendizajes que se traduzcan en formas de pensar, sentir, valorar y actuar frente a los problemas complejos que plantea la vida social y laboral en un país determinado" (González, O., 1995).

Sin hacer referencia a los múltiples y complejos factores que inciden en su planeación y diseño, diremos que, el diseño curricular se concreta en tres momentos fundamentales, a saber: el perfil profesional, el plan de estudios y los programas docentes. Estos tres momentos que reflejan niveles de generalidad diferente en la planificación curricular desde un nivel macro hasta el diseño a nivel micro de una asignatura y clase concreta, se encuentra en la literatura denominada de manera diversa, así como los encargados de su diseño varía según las políticas educativas de cada país (González, et. al, 2003). Así por ejemplo, en el caso boliviano, las Universidades públicas gozan de autonomía para definir y aprobar sus planes de estudio, objetivos y contenidos, que, en algunos casos se divorcian casi totalmente de la realidad nacional, en tanto que, las Universidades privadas se hallan reguladas por el Gobierno a través del Ministerio de Educación.

Ahora bien, cuando formulamos una nueva definición de la Ingeniería Estructural, en los términos que plantea la SÍNTESIS, lo que en realidad estamos proponiendo es un cambio fundamental en los tres factores fundamentales, mencionados en el párrafo precedente, que hacen al currículum, como son el perfil profesional, el plan de estudios y los programas docentes.

Basta analizar los contenidos de cada una de las tres definiciones de la Ingeniería Estructural (Tesis-Antítesis-Síntesis) para establecer con meridiana

claridad que, con la nueva definición (Síntesis) se pretende una Ingeniería Estructural compatible con la conservación de la "Madre Tierra", filosofía del Estado Plurinacional de Bolivia.

Evidentemente, las pretensiones de cambio, a través de la nueva definición, basada en la dialéctica, como un primer paso, deben ser objeto de profundas reflexiones, discusiones, consensos y decisiones, los cuales exceden los alcances de este artículo.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

- Se han alcanzado los dos objetivos formulados, que consisten en la propuesta de una definición dialéctica de la Ingeniería Estructural y la precisión de algunas de sus implicaciones en la formación profesional.
- No se puede dejar de mencionar la importancia del uso de la dialéctica en la interpretación de los problemas, principios y fenómenos de la Ingeniería Estructural, que, si bien en este caso se ha empleado solamente la dialéctica expresada en términos de la triada Tesis-Antítesis-Síntesis, en otros fenómenos, se pueden utilizar otras categorías de la dialéctica para su interpretación. Así, las tres leyes de la dialéctica, formuladas por Engels, han sido usadas para interpretar varios fenómenos, procesos, métodos y principios de la Ingeniería Estructural (Benítez, 2013).
- Sería absolutamente útil, desde nuestro punto de vista, incorporar a la formación profesional del Ingeniero Civil en general e Ingeniero de Estructuras en particular, tópicos relacionados con la filosofía, concretamente nos inclinamos por la filosofía dialéctica, dada su utilidad ya referida.

## BIBLIOGRAFÍA

- Adorno, Th.W. (2011). Dialéctica negativa. Akal, Madrid.
- Álvarez, C. (2009). Lo que contamina un ladrillo. El País, Madrid.
- Bachelard, G. (1993). La filosofía del no. Amorrortu Editores, Buenos Aires.
- Benítez, A. (2013). Dialéctica de la Ingeniería Estructural. Tesis de Doctorado en Ciencias – Mención Ingeniería Civil (Estructural), Universidad Nacional de Siglo XX, Instituto Internacional de Integración-Convenio Andrés Bello, La Paz.
- Benítez, A. (2008). Filosofía de la ingeniería estructural; una aproximación. XX Jornadas argentinas de ingeniería estructural, Buenos Aires.
- Benítez, A. (2008). Dialéctica de la ingeniería

estructural con particular referencia a la resistencia de los materiales. XX Jornadas argentinas de ingeniería estructural, Buenos Aires.

- Benítez, A. (2005). Modelo didáctico para la asignatura "mecánica de materiales" a partir de la teoría de la actividad y de la dialéctica de las estructuras mecánicas elementales. Tesis de M.Sc., Universidad de La Habana y Universidad Autónoma J.M. Saracho, Tarija (Bolivia).
- Engels (1978). Dialéctica de la naturaleza. Akal, Madrid.
- Foucault, M. (2008). Nietzsche, la genealogía, la historia. Editorial Pre-Textos, Valencia.
- Gadamer, H.G. (2007). La dialéctica de Hegel. Cátedra – Teorema, Madrid.
- Gervásio, H. (2008). La sustentabilidad del acero y las estructuras metálicas.
- González, et. al (2003). Currículum y formación profesional. Departamento de Ediciones e Imprenta, CUJAE, La Habana.
- González, O. (1995). Currículo: diseño, práctica y evaluación. CEPES, La Habana.
- Hegel, G.W.F. (2000). Enciclopedia de las ciencias filosóficas. Casa Juan Pablos, México.
- Hegel, G.W.F. (1987). Fenomenología del espíritu. F.C.E., México.
- Hegel, G.W.F. (1986). Ciencia de la lógica. Ediciones Solar, Buenos Aires.
- Horkheimer y Adorno (1998). Dialéctica de la ilustración. Editorial Trotta, Madrid.
- Lefèbvre, H. (1999). El materialismo dialéctico. Psikolibro, www.elaleph.com.
- Ministerio de Fomento de España (2011). Instrucción del hormigón estructural EHE-08. Centro de Publicaciones-Secretaría General Técnica-Ministerio de Fomento, Madrid.
- Nietzsche, F. (2007). Genealogía de la moral. Mestas Ediciones, Madrid.
- Norris y Wilbur (1982). Análisis elemental de estructuras. McGraw Hill, México.
- Rod, W. (1977). La filosofía dialéctica moderna. Ediciones Universidad de Navarra, S.A., Pamplona.
- Valverde, C. (1979). El materialismo dialéctico. Espasa – Calpe, S.A., Madrid.
- Zabala, I.; Aranda, U y Scarpellini, S. (2009). Life cycle assessment in buildings: state of the art and simplified LCA methodology as a complement for building certification. Building and Environment, 2510-2520. USA.

## ANÁLISIS DE LA INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA DE FUNDACIÓN, MEDIANTE EL MÉTODO DE LAS DIFERENCIAS FINITAS

### ANALYSIS OF THE INTERACTION SOIL-STRUCTURE OF FOUNDATION, USING THE METHOD OF FINITE DIFFERENCES

Ojeda Martínez Leidy Laura<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ingeniera Civil Investigadora Junior Departamento de Estructuras – Carrera de Ing. Civil - Facultad de Ciencias y Tecnología – Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”

**Correo electrónico:** leidy\_ojedam@hotmail.com

#### RESUMEN

Las estructuras descansan sobre sus fundaciones, y estas se encargan de transmitir las cargas al suelo; estas fundaciones sufren deformaciones provocando esfuerzos que influyen en las estructuras de cimentación y sus elementos estructurales, por lo que debe conocerse con mayor precisión los esfuerzos, así como los asentamientos que intervienen en toda la estructura.

La presente investigación trata de aplicar el método de las diferencias finitas al análisis de fundaciones consideradas como elementos superficiales, tomando en cuenta la interacción suelo-estructura y utilizando el modelo Winkler. A través de ello se pretende desarrollar un modelo particular del comportamiento de la fundación para luego desarrollar ecuaciones generales y algoritmos que nos ayudaran a la elaboración de un programa computarizado.

En comparación con otros métodos de análisis, utilizados para resolver el problema de contacto, el método de las diferencias finitas resulta ser un método confiable y bastante accesible para su programación computarizada, de manera que es posible conocer con mejor precisión el comportamiento de este tipo de estructuras de cimentación.

**Palabras Clave:** Interacción suelo-estructura, fundación, diferencias finitas.

#### ABSTRACT

Structures rest on their foundations, and these are responsible for transmitting the loads to the ground. These foundations suffer deformations leading efforts that influence the structure foundations

and their structural elements, so it must be known accurately efforts as the well as the settlements involved in the entire structure.

This research tries to apply the method of finite difference to analysis of foundations considered superficial elements, taking into account the soil-structure interaction and using the Winkler model. It seeks to develop a particular model of the behavior of the foundation to develop general equations and algorithms that we help the development of a computerized programming.

Compared to other methods of analysis used to solve the problem of contact, the finite difference method turns out to be a reliable and accessible for the computer programming and to know with greater accuracy the behavior of this type of foundation structures.

**Keywords:** Interaction soil-structure, foundation, finite differences.

#### Introducción

Las estructuras como edificaciones, puentes, tanques, etc., se apoyan en sus fundaciones, y estas se encargan de transmitir las al suelo, la cimentación recibe de la superestructura los esfuerzos y del suelo una tensión de condición admisible para estas acciones recibidas de la superestructura, éstas etapas son estancas (Freire Tellado, 2001).

El análisis de estructuras se basa en la compatibilidad de los desplazamientos que existen entre cada uno de los elementos de las estructuras, pero llegando a la cimentación este antecedente queda a un lado, ya que su tratamiento de las partes es totalmente independiente, lo que ocasiona obviar las deformaciones de la cimentación como el efecto de compresibilidad del suelo, y por tanto

de los asentamientos de las edificaciones (Freire Tellado, 2001).

Santos Miñón (1980), menciona que la primera dificultad que aparece al querer encontrar una solución es encontrar las reacciones del terreno que aparecen en el plano de unión entre la cimentación y el suelo. Estos problemas de contorno se reducen en tensiones y deformaciones, lo que se le suele llamar problema mixto.

En nuestro medio los elementos de cimentación son calculados por procedimientos simplificados en su mayoría, como dicen Gorbunov- Posadov (1947) y G. Sherif (1975), los mismos se comportan de manera satisfactoria, sin embargo es necesario añadir una mejor adecuación a los elementos que se proyectan en los esfuerzos que realmente van a afectarlos, lo que repercute en una cierta economía del proyecto, que no hace que disminuya la seguridad obtenida, sino al contrario se aumenta al reforzar aquella zona que va tener mayores esfuerzos.

Es por eso que al tomar en cuenta la interacción suelo-estructura, se quiere dar una idealización de la estructura, acercándose a la realidad lo más que se pueda, ya que es muy importante hacer un análisis tomando en cuenta todos los factores que intervienen en el problema de contacto, sobre todo cuando la misma se apoya en suelos blandos, que son más susceptibles a ocasionar asentamientos en las estructuras.

### El problema de contacto

Santos Miñón (1980) describe: "El problema de contacto estudia el caso cuando en el contorno de un cuerpo existe numerosas regiones  $\Omega$ , en cada una de las cuales se dan las siguientes condiciones de contacto.

- Igualdad de deformaciones entre dos cuerpos en la zona de contacto.
- La presión de contacto que se produce entre dos cuerpos, o reacción de uno sobre el otro, ha de ser tal que la deformación inducida por estas tensiones cumpla la primera condición o condición de deformación."

Para la interacción del suelo y la estructura, se utiliza varios modelos de suelos, es decir suelos ideales concretados por la expresión matemática de la relación carga -asiento, en cuya base se encuentra el problema de contacto debido a la complejidad del comportamiento del suelo real (Santos Miñón, 1980). Uno de los modelos es el modelo de Winkler, que representa al suelo

como un sistema de resortes lineales, bajo la suposición de que las presiones de contacto son proporcionales a las deformaciones. El modelo presenta la ventaja adicional de ser utilizado para condiciones de cargas tanto verticales como horizontales (Winkler, 1867).

$$q = k_s \cdot w$$

**Donde:**

$q$ : es la presión transmitida [ $F/L^2$ ];

$k_s$ : es el coeficiente de reacción del suelo [ $F/L^3$ ]

$w$ : son los asentamientos producidos en el suelo [ $L$ ].

Es importante anotar que en esta ecuación se está suponiendo una cimentación rígida que transmite al suelo una presión  $q$ , y que el suelo se deforma una cantidad  $w$ , tal como lo haría en un líquido. Producto de esta definición y para que la expresión sea dimensionalmente correcta,  $k_s$  tendrá unidades de fuerza por volumen, razón por la cual se le suele llamar método del fluido denso. (Otálvaro y Nanclares, 2009).

La cuantificación del módulo de Balasto o coeficiente de reacción del suelo, según Delgado Vargas, surge del análisis de la interacción suelo estructura en una viga de fundación, como la relación de presiones de contacto suelo-cimiento y las deflexiones correspondientes del elemento que resultan iguales a los asentamientos del suelo. El ensayo de carga, consiste en determinar los asentamientos generados bajo las presiones del cimiento que van aumentando al aumentar las cargas. El coeficiente de Balasto permite caracterizar los resultados del ensayo, como la relación de la presión media de fundación y el asentamiento correspondiente siendo la pendiente de tangentes o secantes a la curva obtenida de los resultados de asentamientos versus las presiones correspondientes. Este coeficiente tiene una ventaja de simplicidad conceptual, siendo su uso delicado ya que depende de numerosos factores, tanto del suelo y como del elemento de fundación. También se debe tomar en cuenta los sucesos pertinentes de la interacción suelo-estructura.

Para esta solución del problema de contacto se utilizan diferentes **métodos matemáticos** de cálculo, dentro de los cuales se encuentran los métodos numéricos, que se basan en la solución del problema mixto de contorno que plantea la solución de la ecuación diferencial. Uno de los métodos que se puede distinguir es el **método de las diferencias finitas**, que es empleada de forma directa (Santos Miñón, 1980).

El método de las diferencias finitas es considerado un método sencillo, en la solución de elementos superficiales, permitiendo plantear soluciones matriciales ya que básicamente consiste en el reemplazo de las ecuaciones diferenciales parciales, por sus correspondientes ecuaciones de diferencias finitas, para luego obtener un conjunto de ecuaciones algebraicas simultaneas que son más sencillas de resolver (Ballinas-Mijangos, 2006).

**Materiales y Métodos:**

Aplicación de las diferencias finitas aplicado a elementos superficiales

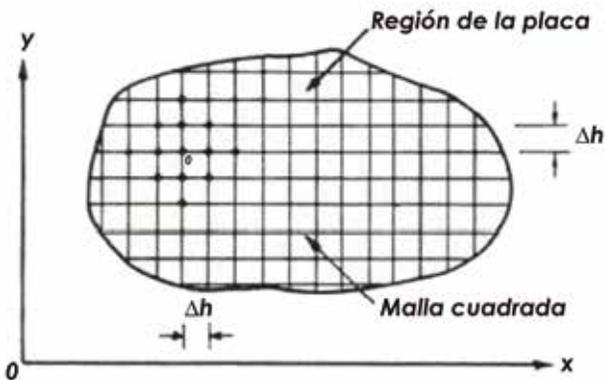
El problema de losas se resuelve haciendo uso de la teoría de las placas. La ecuación diferencial de flexión en placas delgadas apoyadas sobre un medio Winkleriano (Timoshenko, 1959).

$$\frac{d^4w}{dx^4} + \frac{2d^4w}{dx^2 dy^2} + \frac{d^4w}{dy^4} = \frac{q}{D} + \frac{P}{D(dx dy)}$$

Para solucionar el problema asumimos que el elemento se encuentra dividido en mallas de diferencias finitas, donde las mallas tendrán un espaciamiento  $\Delta h$  entre nodos a lo largo de ambas direcciones de coordenadas.

Estas mallas deben poseer las suficientes divisiones como para que todas las cargas se concentren sobre los nodos, y si alguna se encuentra fuera de ellos, puede ser repartida en los nodos adyacentes (aunque no se recomienda).

**Figura 1** Malla de diferencias finitas en una losa y designación de puntos.



De lo anteriormente establecido, podemos obtener las siguientes relaciones de diferencias finitas:

$$\left[ \frac{dw}{dx} \right]_0 = \frac{1}{2\Delta h} [w_R - w_L]$$

$$\left[ \frac{dw}{dy} \right]_0 = \frac{1}{2\Delta h} [w_T - w_B]$$

$$\left[ \frac{d^2w}{dx^2} \right]_0 = \frac{1}{\Delta h^2} [w_R - 2w_0 + w_L]$$

$$\left[ \frac{d^2w}{dy^2} \right]_0 = \frac{1}{\Delta h^2} [w_T + w_B - 2w_0]$$

$$\left[ \frac{d^2w}{dx dy} \right]_0 = \frac{1}{4\Delta h^2} [w_{TR} - w_{TL} + w_{BL} - w_{BR}]$$

$$\left[ \frac{d^3w}{dx^3} \right]_0 = \frac{1}{2\Delta h^3} [w_{RR} - 2w_R + 2w_L - w_{LL}]$$

$$\left[ \frac{d^3w}{dy^3} \right]_0 = \frac{1}{2\Delta h^3} [w_{TT} - 2w_T + 2w_B - w_{BB}]$$

$$\left[ \frac{d^4w}{dx^4} \right]_0 = \frac{1}{2\Delta h^4} [w_{RR} - 4w_R + 6w_L - 4w_{LL} + w_{LL}]$$

$$\left[ \frac{d^4w}{dy^4} \right]_0 = \frac{1}{\Delta h^4} [w_{TT} - 4w_T + 6w_0 - 4w_B + w_{BB}]$$

$$\left[ \frac{d^4w}{dx^2 dy^2} \right]_0 = \frac{1}{\Delta h^4} [w_{TR} + w_{TL} + w_{BL} + w_{BR} + 4w_0 - 2(w_R + w_T + w_L + w_B)]$$

Cabe destacar que existe un cierto error en los datos obtenidos de esta manera, el cual tiende a desvanecerse conforme  $\Delta h$  se haga más pequeña en relación con  $h$ . Por tanto, substituyendo los términos correspondientes a la ecuación diferencial de flexión en placas, obtenemos:

$$20w_0 - 8(w_R + w_T + w_L + w_B) + 2(w_{TR} + w_{TL} + w_{BL} + w_{BR}) + w_{RR} + w_{TT} + w_{LL} + w_{BB} = \frac{q\Delta h^4}{D} + \frac{P\Delta h^2}{D}$$

$$D = \frac{Et^3}{12(1 - \nu^2)}$$

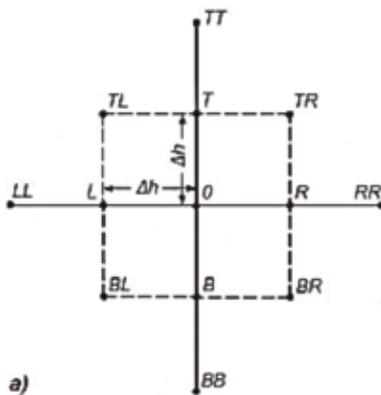
Donde:

- $w_i$  : Deformación de la losa bajo el nodo  $i$ .  
 $q$  : Reacción uniforme del suelo actuante bajo el área tributaria del nodo 0.  
 $\Delta h$  : Separación entre nodos.  
 $h$  : Longitud de la losa.  
 $D$  : Rigidez a la flexión de la losa.  
 $P$  : Carga concentrada actuante sobre el nodo 0.  
 $E$  : Módulo de elasticidad de la losa.  
 $t$  : Espesor de la losa.  
 $\nu$  : Relación de Poisson de la losa.

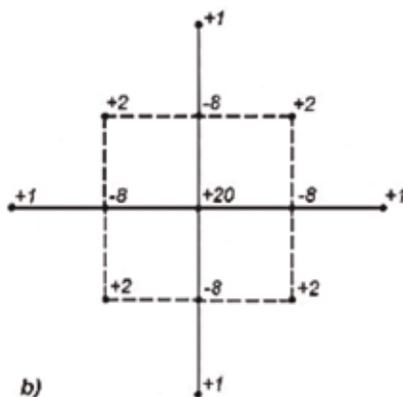
Esta ecuación, para los nodos centrales de la malla se representa esquemáticamente de la manera siguiente:

**Figura 2.** Malla para el cálculo de diferencias finitas centrales:

**a)** Localización de términos



**b)** Ecuación diferencial aplicable a cualquier nodo interior de la malla.



Para los nodos que se encuentran localizados cerca o sobre los bordes de la malla es necesario aplicar otras ecuaciones.

Tras resolver el conjunto de ecuaciones algebraicas obtenidas mediante la aplicación de las ecuaciones de diferencias finitas correspondientes

a cada uno de los nodos de la malla, obtendremos las deflexiones de la losa. Con ellas, los momentos y cortantes actuantes en los nodos interiores de la malla (unidades de momento y cortante por unidad de ancho) pueden ser calculados a partir de las ecuaciones diferenciales siguientes:

$$-\frac{M_x}{D} = \frac{d^2w}{dx^2} + \nu \frac{d^2w}{dy^2}$$

$$-\frac{M_y}{D} = \frac{d^2w}{dy^2} + \nu \frac{d^2w}{dx^2}$$

$$-\frac{Q_x}{D} = \frac{d^3w}{dx^3} + \nu \frac{d^3w}{dx dy^2}$$

$$-\frac{Q_y}{D} = \frac{d^3w}{dy^3} + \nu \frac{d^3w}{dy dx^2}$$

Substituyendo términos, obtenemos:

$$-M_x = \frac{D}{\Delta h^2} (w_L - 2w_0 + w_R) + \frac{\nu D}{\Delta h^2} (w_T - 2w_0 + w_B)$$

$$-M_y = \frac{D}{\Delta h^2} (w_T - 2w_0 + w_B) + \frac{\nu D}{\Delta h^2} (w_L - 2w_0 + w_R)$$

$$-Q_x = \frac{D}{2\Delta h^3} (-w_{TL} + w_{TR} - w_{BL} + w_{BR} - w_{LL} + w_{RR} + 4w_L - 4w_R)$$

$$-Q_y = \frac{D}{2\Delta h^3} (w_{TT} - w_{BB} - 4w_T + 4w_B + w_{TL} + w_{TR} - w_{BL} - w_{BR})$$

Los momentos en los extremos del sentido de análisis de la losa son nulos, mientras que los momentos en los extremos perpendiculares al sentido de análisis se determinan mediante el uso de las ecuaciones siguientes:

$$-M_x = \frac{D}{\Delta h^2} (w_L - 2w_0 + w_R)$$

$$-M_y = \frac{D}{\Delta h^2} (w_T - 2w_0 + w_B)$$

Por su parte, los cortantes respecto al eje horizontal en los nodos que se encuentran cerca y sobre el borde de la losa se calculan haciendo uso de otras ecuaciones. Para calcular los cortantes con respecto al eje vertical bastará con girar los diagramas 90° hacia su izquierda.

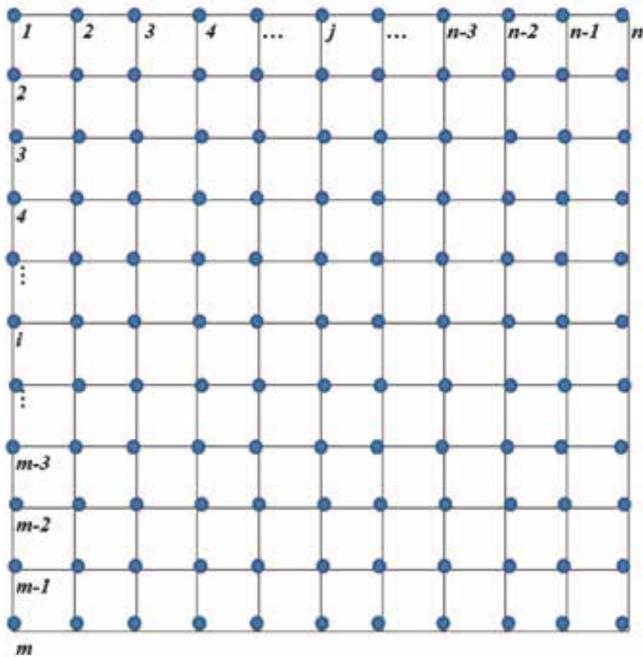
### Presentación de algoritmos para la solución por el método de diferencias finitas.-

#### Suelo modelo Winkler

En primer lugar, se asume que la losa se encuentra dividida en una malla de diferencias finitas. Esta

La malla tendrá un espaciamiento  $\Delta h$  entre nodos a lo largo de ambas direcciones de la losa.

**Figura 3.** División de la losa en mallas de diferencias finita



El número de nodos para cada dirección será igual al número de segmentos ( $\Delta h$ ) más 1. Donde la dirección horizontal tendrá un número de nodos que serán denominadas columnas "n" y la dirección vertical tendrá un número de nodos que serán denominadas filas "m". Para obtener la cantidad total de nodos que tiene la malla se realiza la multiplicación de filas por columnas ( $m \times n$ ). La ubicación de cada punto nodal está identificado por los sub índices "i,j". Los mismos que indican la fila y columna respectivamente.

Para la presión de contacto que ejerce la placa de fundación al terreno, se hace la suposición que existe un resorte debajo de cada nodo de la malla en representación del suelo bajo la losa (modelo Winkler). Entonces.

$$q(i,j) = -k(i,j) * w(i,j)$$

Donde **k** es el coeficiente de Balasto o módulo de reacción del suelo puede ser un valor constante o variante bajo cada nodo de la losa, **w** representa las deformaciones de la losa bajo cada punto de la malla.

Para determinar las deformaciones incógnitas se tiene que realizar expresiones para cada nodo de la malla a través de la ecuación diferencial de flexión en placas, que estarán en función de las presiones

de contacto y las fuerzas externas actuantes en la losa, por consiguiente, también dependerán de las deformaciones, como también existirán términos independientes que están en función de las fuerzas externas, las mismas que forman un vector  $\{P_{ij}\}$ , que llevados a una expresión matricial, se escriben de la siguiente manera:

$$[C_w] \{w_{ij}\} = \{P_{ij}\}$$

Donde:

$\{w_{ij}\}$ : Vector de deformaciones en cada nodo de la malla de la losa

$[C_w]$ : Matriz cuadrada ( $m \times n$ ), de coeficientes que están en función de solo los factores que multiplican a las deformaciones, por lo cual se pueden obtener expresiones generales para cualquier tamaño de matriz determinada por la malla de nodos.

$\{P_{ij}\}$ : Vector de fuerzas externas, depende del valor de cargas y la ubicación de las mismas.

Para obtener los valores de las deformaciones en cada nodo se despeja el vector de deformaciones  $\{w_{ij}\}$ , que será igual a la inversa de la matriz  $[C_w]$  multiplicada por el vector de fuerzas externas  $\{P_{ij}\}$ .

$$\{w_{ij}\} = [C_w]^{-1} \{P_{ij}\}$$

Antes de resolver la expresión matricial, para obtener los valores de las deformaciones en cada nodo se plantea y se obtiene, para cada nodo de la malla, un sistema de ecuaciones diferenciales de flexión para placas, las mismas que luego son sustituidas por relaciones de diferencias finitas.

### VECTOR DE CARGAS EXTERNAS:

Para el vector de cargas externas se crea vector  $P_{ij}$  en el cual se almacenan los valores de las cargas externas.

Los valores que se tienen para este vector son la carga distribuida uniformemente en toda la losa, las cargas puntuales para cada punto nodal y las cargas puntuales en nodos específicos.

La carga distribuida se multiplica por cada área tributaria correspondiente al punto nodal, y se obtienen las cargas concentradas en cada nodo de la malla. Luego se realiza la suma de todas estas cargas concentradas correspondiente a cada nodo de la malla.

Teniendo el  $P_{ij}$  total en cada nodo, se forma el vector de cargas externas, este vector es afectado por un valor de  $\Delta h^2$  y se divide por la rigidez  $D$  quedando la siguiente expresión:  $(\frac{P\Delta h^2}{D})$ .

## GENERACIÓN DE LOS MOMENTOS FLECTORES EN CADA NODO DE LA LOSA:

- Una vez obtenido el vector de deformaciones  $\{w_{ij}\}$ , es posible utilizar las ecuaciones respectivas para determinar los momentos flectores en el eje x horizontal y el eje y vertical.
- Para obtener los momentos flectores de los nodos en ambas direcciones se tomará en cuenta desde el nodo (2, 2) hasta  $((m-1), (n-1))$ , donde m es el número total de filas y n el número total de columnas.
- Para la dirección del eje x en la parte superior se tomarán los nodos de  $i=1$  y  $1 < j < n$ , y para la parte inferior  $i=m$  y  $1 < j < n$ .
- Para la dirección del eje y en la parte izquierda se tomarán los nodos de  $1 < i < m$  y  $j=1$ , para la parte derecha se tomará de  $1 < i < m$  y  $j=n$ .
- Para el eje en el sentido de análisis de la losa en los nodos extremos los momentos serán nulos.

## GENERACIÓN DE LAS FUERZAS CORTANTES EN LOS NODOS DE LA LOSA:

- Una vez obtenidos el vector de deformaciones  $\{w_{ij}\}$  es posible utilizar las ecuaciones respectivas para determinar las fuerzas cortantes en el eje x horizontal y el eje y vertical.
- Para obtener las fuerzas cortantes en ambas direcciones con las ecuaciones anteriores se tomará en cuenta desde el nodo  $1 < i < m$  y  $2 < j < n-1$ .

## GENERACIÓN DE LAS PRESIONES DE CONTACTO Y LAS REACCIONES

Para la generación de las presiones de contacto  $q_{ij}$ , se utiliza la siguiente expresión:

$$q(i,j) = -k(i,j) * w(i,j)$$

Donde para cada nodo de la malla, se multiplica el valor obtenido de las deformaciones en cada nodo  $w_{ij}$ , por el coeficiente de Balasto  $k_s$ , que se utilizó para realizar los cálculos anteriores.

Una vez obtenidas estas presiones de contacto, podemos encontrar también las reacciones del terreno y la losa  $p_{ij}$ , para ello multiplicamos la presión de contacto  $q_{ij}$  de cada nodo por su área tributaria correspondiente a cada nodo. Con estas reacciones podemos verificar el equilibrio del sistema, donde la suma de las reacciones actuantes sobre el terreno y la losa deben ser iguales a la suma de cargas externas actuantes sobre la losa.

$$\sum p_{ij} = \sum P_{ij}$$

## PROCEDIMIENTO PARA EL ANÁLISIS POR DIFERENCIAS FINITAS PARA LOSAS DE FUNDACIÓN EN SUELO MODELO WINKLER.

- Entrada de datos.
- Generación de filas y columnas para la malla de diferencias finitas.
- Entrada y ubicación de cargas en la malla de diferencias finitas en la losa.
- Generación del vector de cargas externas, términos independientes.  $\{P_{ij}\}$
- Generación de la matriz de coeficientes de deformaciones  $[C_w]$
- Resolver el sistema de ecuaciones para determinar el vector de deformaciones, de la siguiente expresión  $\{w_{ij}\} = [C_w]^{-1} \{P_{ij}\}$ .
- Salida de resultado de las deformaciones para cada nodo.
- Cálculo de las presiones de contacto y reacciones, una vez obtenidas las deformaciones y multiplicadas por el coeficiente de balasto, utilizada anteriormente como constante para toda la losa.
- Salida de resultados de las presiones de contacto y reacciones en cada nodo.
- Cálculo de las fuerzas cortantes con las ecuaciones dadas, para cada nodo de la malla de la losa.
- Salida de resultados de las fuerzas cortantes en ambas direcciones para cada nodo.
- Cálculo de los momentos flectores en ambas direcciones de la losa, con las ecuaciones dadas para cada nodo de la losa.
- Salida de resultados de los momentos flectores en ambas direcciones para cada nodo.

## PRESENTACIÓN DEL PROGRAMA "INTERSL" Y SU APLICACIÓN.

El objetivo del programa "Intersl", es realizar un análisis estático de una losa de fundación plana de sección rectangular, de espesor constante, tomando en cuenta la interacción suelo estructura, donde la losa de fundación debe ser dividida en una malla de diferencias finitas, la cual debe contener un mismo espaciamiento "h" entre nodos en ambas direcciones de coordenadas.

El modelo de suelo que se utilizó para este propósito es el modelo Winkler, considerando un coeficiente de Balasto constante en todos los puntos de la malla, con las expresiones de las diferencias finitas para aproximar la solución de la ecuación diferencial a flexión en placas delgadas.

El programa "Intersl" está diseñado en el entorno de programación MATLAB 7.10, se sabe que existen una variedad de lenguajes de programación,

algunos con más bondades que otros, algunos más que otros difíciles en su aplicación como en su elaboración y configuración.

Se eligió MATLAB debido a que es un programa más orientado a cálculos matriciales lo cual es favorable para el cálculo de las diferencias finitas, utilizando MATLAB los cálculos son más rápidos y se hace fácil realizar la manipulación y el control de los datos matriciales y vectoriales.

La ventaja de este lenguaje es la facilidad de comprensión, la sintaxis de MATLAB es fácil de comprender, la escritura y modificación de programas puede ser efectuada fácilmente mediante la interacción entre el programador y la computadora, otra ventaja interesante es que permite graficar todo tipo de funciones en 2D y 3D de una manera práctica y sencilla la cual sirve de mucho apoyo al momento de comprobar resultados. Por todo lo mencionado MATLAB es el programa que mejor se aplica a los requerimientos del programa "Intersl".

### ANÁLISIS DE LOSA DE FUNDACIÓN POR EL MÉTODO DE LAS DIFERENCIAS FINITAS PARA DIFERENTES COEFICIENTES DE BALASTO

Se tomará una losa de sección rectangular con las siguientes dimensiones y características de la misma.

#### Dimensiones de la losa: 14m x 15m:

- Longitud1: 14.00 m
- Longitud 2: 15.00 m
- Se asume, para losas de cimentación, un espesor mínimo de 0.40 m.

#### Características de la losa de hormigón armado:

- Módulo de elasticidad:  $2.1 \times 10^9 \text{ kg/m}^2$
- Coeficiente de Poisson: 0.15

**El coeficiente de balasto, según la Clasificación Unificada se determina a partir de los siguientes tipos de suelo:**

**Tabla 1.** Suelo 1

Clasificación	Denominación	Coefficiente de Balasto (N/mm <sup>3</sup> )	Observaciones
CH	Arcilla inorgánica de alta compresibilidad (arcilla densa)	$K_{s30} = 0.04 - 0.09$	Aproximaciones del módulo de Balasto (Cálculo de Estructuras de Cimentación - Calavera)
		$K_{s30} = 6500000 \text{ Kg/m}^3$	Tomando la media

**Tabla 2.** Suelo 2

Clasificación	Denominación	Coefficiente de Balasto (N/mm <sup>3</sup> )	Observaciones
CL	Arcilla inorgánica de baja a mediana compresibilidad (arcilla limo arenosa)	$K_{s30} = 0.90 - 0.13$	Aproximaciones del módulo de Balasto (Cálculo de Estructuras de Cimentación - Calavera)
		$K_{s30} = 11000000 \text{ Kg/m}^3$	Tomando la media

#### Para cimentaciones cuadradas:

Como nuestros suelos son arcillas, solo se trabajará con esta ecuación para calcular el coeficiente de balasto para cimentaciones cuadradas:

#### Para suelos arcillosos:

$$k_s = k_{s30} \left[ \frac{0.3}{b} \right]$$

#### Para cimentaciones rectangulares:

$$k_{s \text{ Rectangular}} = \frac{2}{3} k_{s \text{ Cuadrada}} [1 + B/2L]$$

Aplicando estas ecuaciones y para los dos tipos de suelos se tiene respectivamente:

#### Para el suelo 1

$$K_{s30} = 6500000 \text{ Kg/m}^3$$

$$b = 14.0 \text{ m (ancho equivalente)}$$

$L = 15.0 \text{ m}$  (lado mayor)

$$K_{sc} = 139286.0 \text{ Kg/m}^3$$

$$K_{sr} = 136190.0 \text{ Kg/m}^3$$

Se toma un valor de  $136000 \text{ Kg/m}^3$

### Para el suelo 2

$$K_{s30} = 11000000 \text{ Kg/m}^3$$

$b = 14.0 \text{ m}$  (ancho equivalente)

$L = 15.0 \text{ m}$  (lado mayor)

$$K_{sc} = 235714.0 \text{ Kg/m}^3$$

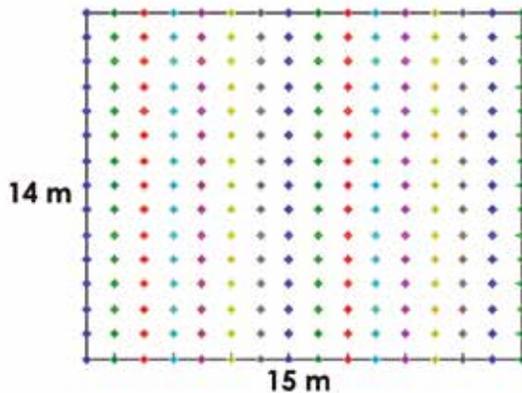
$$K_{sr} = 230476.0 \text{ Kg/m}^3$$

Se toma un valor de  $230000 \text{ Kg/m}^3$

### Determinación de filas y columnas:

Las filas y columnas dependerán de las longitudes que tenga la losa, en este caso se tendrá 15 filas y 16 columnas, que conformaran la malla de diferencias finitas, obteniendo 240 nodos con espaciamiento entre nodos de  $1 \text{ m}$ .

**Figura 4** División de la losa en nodos.



- Esta losa de cimentación estará sometida al siguiente sistema de cargas:
  - Peso propio (carga uniformemente distribuida en toda la losa).  
Peso específico del hormigón =  $2400 \text{ kg/m}^3$   
 $q = 2400 \cdot 0.4 = 960 \text{ kg/m}^2$
  - Cargas puntuales verticales (transmitidas por las columnas).

**Tabla 3.** Cargas puntuales para el análisis de la losa.

N°	Fila	Columna	Peso (Tn)	Peso (kg)
1	2	2	15	15000
2	2	5	25	25000
3	2	9	35	35000
4	2	15	30	30000
5	6	2	25	25000
6	6	5	40	40000
7	6	9	60	60000
8	6	15	40	40000
9	10	2	25	25000
10	10	5	40	40000
11	10	9	60	60000
12	10	15	40	40000
13	14	2	15	15000
14	14	5	25	25000
15	14	9	35	35000
16	14	15	30	30000

Una vez teniendo todos los datos necesarios para el desarrollo del análisis de la losa de fundación, utilizamos el programa "Inters!" para obtener las deformaciones, presiones de contacto, reacciones, fuerzas cortantes y momentos flectores.

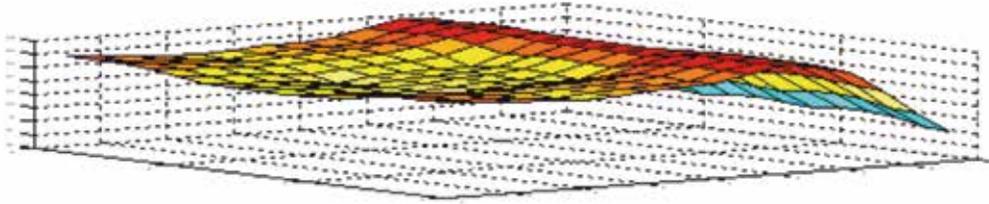
### Resultados:

#### CONSIDERACIONES AL ANÁLISIS CON DIFERENTES COEFICIENTES DE BALASTO

Analizando los resultados para dos diferentes coeficientes de Balasto podemos llegar a las siguientes consideraciones:

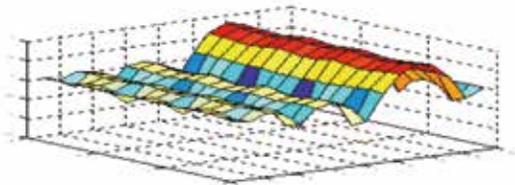
- Podemos ver que los dos coeficientes de análisis, cuya diferencia es de un 40.87 %. A partir de ello se puede estimar las variaciones que existen en las deformaciones y momentos flectores.
- Para un coeficiente de Balasto de  $K_s = 136000 \text{ Kg/m}^3$  se obtuvo una deformación máxima de  $3.02 \text{ cm}$ , a comparación de un  $K_s = 230000 \text{ Kg/m}^3$  que arrojó una deformación máxima de  $1.89 \text{ cm}$ , es decir que si menor es el coeficiente de Balasto mayores serán las deformaciones; en este caso la diferencia entre las deformaciones máximas fue de un 37.42 %.

**Figura 5** Grafica tridimensional de las deformaciones.



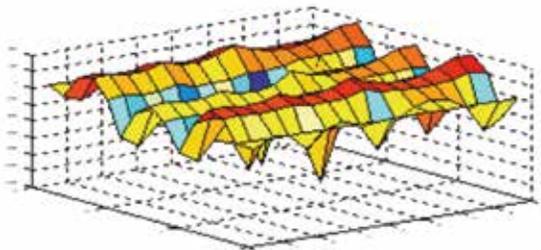
- A medida que el coeficiente de Balasto aumenta en su valor, las deformaciones de la losa de fundación disminuyen, por lo que se reducen los momentos flectores máximos.
- Con respecto a los momentos positivos en el eje X podemos observar que existe entre ambos tipos de suelos existe una diferencia del 2.3 %. Es decir que para el suelo 1 se tiene un momento de 10703.00 Kg-m y para el suelo 2 un momento de 10954.0 Kg-m.

**Figura 6.** Grafica tridimensional de los momentos flectores en X.



- En los momentos positivos en el eje Y existe una diferencia de 0.7 %. Para el suelo 1 se tiene un momento de 10071.0Kg-m, y para el suelo 2 se tiene un momento de 10001.0 Kg-m.

**Figura 7.** Grafica tridimensional de los momentos flectores en Y.



- Es entonces que la variación del coeficiente de Balasto afecta en porcentajes mínimos a los momentos flectores que se obtiene mediante este análisis. Se aprecia una relativa baja sensibilidad de las diferencias en el momento máximo, por sobreestimación en el módulo de reacción del suelo de soporte.

**COMPARACIÓN DE ANÁLISIS MEDIANTE DIFERENCIAS FINITAS, PROGRAMA "INTERSL", CON OTRO PROGRAMA ESTRUCTURAL.**

Se utilizó el programa SAP2000, para analizar los dos anteriores casos de losas con coeficientes de Balasto diferente, el objetivo de este análisis fue investigar la incidencia de variaciones que se tiene de un método a otro, el porcentaje de variación de las deformaciones. A continuación, se presentan los valores máximos de las deformaciones y de las reacciones en los nodos.

- Para un coeficiente de Balasto de 136000 kg/m<sup>3</sup> se obtuvo una deformación máxima de 0.0372 m, es decir 3.72 cm, donde varía un 18.8% más con el método de los elementos finitos a comparación del método de las diferencias finitas.
- Para un coeficiente de Balasto de 230000 kg/m<sup>3</sup> se obtuvo una máxima deformación de 2.31 cm, teniendo una variación de 18.05% más en el método de los elementos finitos a comparación de la utilización de las diferencias finitas.
- Las reacciones máximas obtenidas en el SAP2000 fueron de 4814.84 Kg y 4941.61 Kg para un coeficiente de Balasto de 130000 kg/m<sup>3</sup> y 230000 kg/m<sup>3</sup> respectivamente, y las reacciones obtenidas mediante las diferencias finitas fueron de 3869.90 Kg y 4006.0 Kg, con una variación aproximada del 19 % en favor al método de los elementos finitos.

**DISCUSIÓN**

- El método de las diferencias finitas permite plantear soluciones matriciales al problema de elementos de fundación sobre suelo de soporte modelado de acuerdo a la hipótesis de Winkler, es un método abreviado que consiste en el reemplazo de las ecuaciones diferenciales parciales, por sus correspondientes ecuaciones de diferencias finitas, a fin de obtener un conjunto de ecuaciones algebraicas simultáneas más sencillas de resolver.
- Las diferencias finitas representan un método adecuado para realizar el análisis de la interacción suelo-estructura de fundación, donde de manera más sencilla se pueden determinar las deformaciones de la losa.
- El modelo de Winkler propone que la deflexión,  $w(x,y)$ , en cualquier punto de la superficie del

suelo de soporte es linealmente proporcional a la presión de contacto  $q(x,y)$  en ese punto, e independiente de los esfuerzos de contacto en otros puntos; es por esto que el suelo de soporte consiste en un sistema de elementos resortes lineales mutuamente independientes. Existen muchos problemas en la ingeniería para los cuales este modelo representa una idealización adecuada.

- Para determinar el coeficiente de Balasto es muy importante determinar las propiedades físico-mecánicas del suelo, y así poder tener un valor más real que represente al suelo; Como también conocer la geometría de la fundación, ya que su variación también dependerá de la misma.
- Mediante las diferencias finitas podemos generar soluciones manuales, pero resulta más ventajoso generar algoritmos y ecuaciones generales que faciliten soluciones computarizadas académicas.
- En el análisis de losas de fundación, utilizando el programa "Intersl", podemos determinar las presiones de contacto y las reacciones del suelo hacia la losa, como también podemos obtener las fuerzas cortantes, y los momentos flectores que nos ayudarán para el diseño de las mismas.
- "Intersl" es un programa que sólo es aplicable al análisis de losas de fundación planas de sección rectangular, de espesor constante, tomando en cuenta la interacción suelo estructura, considerando un coeficiente de Balasto constante en todos los puntos de la malla. Las cargas actuantes serán cargas gravitacionales, distribuidas en toda la losa y concentradas debiendo ubicarse exactamente en los nodos de la malla. Por último, la malla debe tener un mínimo de cinco filas y cinco columnas.
- El método de las diferencias finitas en la interacción suelo-estructura se puede aplicar, no solo tomando en cuenta el modelo de Winkler sino también otros modelos que representen el suelo, como Vlasov-Pasternak y el Semiespacio

elástico. Ya que las diferencias finitas son de fácil aplicación.

- Es preferible realizar ensayos de laboratorio, para determinar las mayores propiedades físico-mecánicas del suelo y poder obtener un coeficiente de balasto con mayor precisión del terreno de análisis, como:
  1. Correlaciones empíricas del módulo elástico del suelo obtenido en ensayos de laboratorio.
    - Ensayo triaxial o de compresión no confinada.
    - Ensayo de CBR.
    - Ensayo de consolidación.
  2. Correlaciones empíricas con resultados de ensayos de campo en el sitio (SPT, CPT, DPT y veleta).
    - Correlaciones empíricas directas con el  $k_s$ .
    - Correlaciones empíricas indirectas con el módulo elástico o la resistencia al corte no drenado del suelo.

## BIBLIOGRAFÍA

- Ballinas-Mijangos, R.J., (2006) Suelos Expansivos. Tesis de Maestro en Ingeniería. México, Ingeniería Civil – Análisis y Diseño de Cimentaciones, Universidad Nacional autónoma de México.
- Delgado-Vargas, M., (1993) "Coeficiente de Balasto" Segundo encuentro Nacional de Ingenieros de Suelos y Estructuras, Septiembre de 1993, Santa Fe de Bogotá.
- Freire–Tellado, M. J. (2001) "Interacción del suelo, cimiento y estructura: el caso de las zapatas (1ra parte)" en Informes de la construcción. Volumen 52, Nº 471, Enero/Febrero 2001, pp. 45-58.
- Otálvaro I. F. y Nanclares F. J., (2009) "Elementos para Obtener el Modulo de Reacción de Subrasante" en Dyna. Año 76, Nº 157, Marzo 2009, pp. 81-89.
- Santos-Miñon, J. (1980) "Interacción estática suelo–estructura. Modelos de suelos empleados" en Revista de Obras Públicas. Febrero- Marzo 1980, pp. 181-191.

## DISEÑO ÓPTIMO DE VIGAS DE HORMIGON ARMADO SOMETIDAS A FLEXION DISEÑO INTEGRAL COSTO vs RESISTENCIA

### OPTIMUM DESIGN OF REINFORCED CONCRETE BEAMS SUBJECTED TO BENDING INTEGRAL DESIGN COST VS STRENGTH

Álvarez Gozalvez Ernesto<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Docente de la Carrera de Ingeniería Civil – Departamento de Estructuras – Carrera de Ing. Civil Facultad de Ciencias y Tecnología – Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”

Correo electrónico: ernesto-217@hotmail.com

#### RESUMEN

El presente trabajo trata sobre el diseño de vigas de hormigón armado, mediante un modelo matemático que permite minimizar el costo de una viga plana o losa maciza unidireccional, una viga rectangular y una viga de sección T simplemente reforzadas, todas sometidas a flexión. Se propone un procedimiento de diseño simultáneo que integra la relación costo con la resistencia a la flexión de la viga. Para lograr este objetivo se recurre a técnicas de optimización matemática dentro del cálculo diferencial, basadas principalmente en la aplicación de la teoría de máximos y mínimos además de los requisitos de diseño recomendados por la norma ACI 318-08. Mediante este procedimiento de máximos y mínimos la solución se obtiene cuando la función costo se convierte en tangente en el punto de óptima solución de la función de restricción y dentro del rango del dominio permisible. Finalmente los resultados encontrados son comparados y validados con los resultados obtenidos mediante el diseño tradicional.

**Palabras Clave:** restricción, variable de diseño, dominio permisible, costo, resistencia, flexión.

#### ABSTRACT

This paper discusses the design of reinforced concrete beams, using mathematical model that minimizes the cost of single beam, unidirectional solid slab, and a rectangular simply reinforced T-beam, all subjected to bending stresses. It proposes a procedure of concurrent design that integrates the cost to the bending of the beam. To achieve this goal, we take out optimization techniques based mainly on the application of the theory of maximum and minimum as well as the design requirements recommended by the ACI – 318-08 standard is used. Through this procedure of

maximum and minimum, the solution is obtained when the function cost converts in tangent in the point of optimal solution of the function of restriction and within the range of the domain permissible. Finally the results are compared and validated with the results obtained using the traditional design.

**Key words:** restriction, design variable, permissible dominium, cost, strength, flexion.

#### INTRODUCCION

Por muchos años, el diseño en ingeniería estructural, ha estado basado en un procedimiento conocido como el de “prueba y error”; (Borda F.J.) es decir que, si un determinado elemento estructural era seleccionado para cumplir una determinada función estructural el procedimiento consistía en transitar paso a paso dentro del proceso de diseño, llevando adelante ciertos cambios en las variables de diseño y que finalmente por comparación entre el diseño precedente y el último, con la respectiva verificación de las condiciones impuestas se podía decidir se había alcanzado el diseño deseado; caso contrario el procedimiento continuaba con una nueva comparación y así sucesivamente hasta encontrar el diseño considerado por el proyectista como el suficientemente aceptable.

Hoy todavía, el diseño de estructuras se realiza siguiendo este proceso iterativo, se parte de un diseño inicial, que es analizado para conocer su respuesta a las acciones exteriores y luego se comprueba si esta es segura y adecuada. Si la comprobación resulta satisfactoria, se finaliza el diseño; en caso contrario, se realiza una fase de síntesis, que a partir de los resultados encontrados se procede a un nuevo diseño. Este diseño se analiza de nuevo y el proceso se repite hasta alcanzar un diseño satisfactorio. Este método, denominado de prueba y error, presenta

el inconveniente de que las modificaciones dependen de la experiencia del diseñador, o de datos iniciales suficientemente cerca del resultado final y de esta manera se obtiene soluciones que no siempre son las mejores, y además con un alto costo de tiempo del diseñador.

Con el uso de planillas de cálculo electrónicas preparadas expresamente para el diseño de estructuras, así como de algún software especializado, los ingenieros dedicados al diseño estructural, en su mayoría están casi siempre tentados en asumir y validar los resultados de un determinado diseño estructural, luego de haber establecido la correspondiente verificación del comportamiento estructural a través de su resistencia y funcionalidad. Sin embargo un parámetro también determinante de todo diseño es el costo económico de la estructura para su factibilidad de ejecución, situación que en un procedimiento de cálculo tradicional siempre se aborda como la etapa final de todo diseño.

Este trabajo pretende mostrar que con el uso de las técnicas de optimización basados en el cálculo diferencial y la teoría de máximos y mínimos se plantean algoritmos matemáticos claramente definidos y manejados a través de planillas electrónicas, que hacen posible integrar en el diseño estructural la relación costo-resistencia. Para el caso de los requisitos y restricciones al comportamiento de vigas sometidas a flexión, se recurre a las especificaciones de diseño según la Norma Americana ACI-318-08 que especifica los criterios y requisitos de diseño basados en el comportamiento a la resistencia última.

Los procedimientos de optimización aplicados al diseño estructural, resultan una alternativa a la metodología mencionada en líneas arriba. Este se basa fundamentalmente en una formulación precisa del proceso de diseño, donde se establece una función objetivo en la que intervienen

simultáneamente todas las demás variables de diseño con sus respectivas restricciones, las mismas que pueden ser impuestas por las normas de diseño y/o construcción, así como por las propiedades mecánicas de los materiales empleados en el diseño.

## FORMULACION GENERAL DEL PROBLEMA DE OPTIMIZACION

A partir del planteamiento general que se tiene sobre un diseño en ingeniería estructural, se establece la existencia de un número de propiedades estructurales, a las que podemos denominarlas: variables de diseño y que con la finalidad de alcanzar la configuración "ideal", estas pueden ser modificadas a lo largo de todo el proceso, cuidando en todo momento que no se violenten las condiciones iniciales del problema (Hernández S.). Por lo tanto este juego de variables se define como el conjunto de las variables de diseño que cumplen con alguna condición de restricción:

$$g_i(\underline{X}) \leq 0 \quad (i = 1, \dots, n)$$

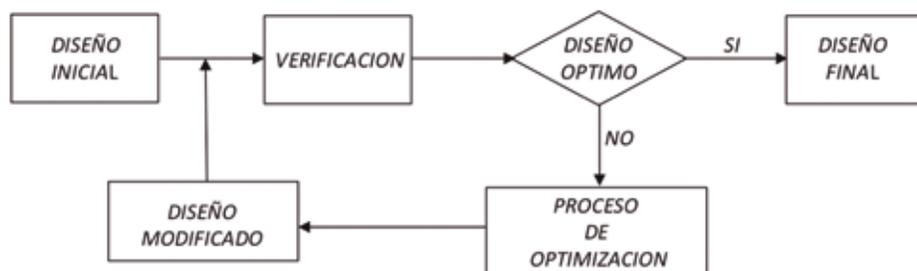
Por otro lado, cierta clase de optimización requiere establecer la propiedad estructural que se pretende optimizar. Esta condición es usualmente llamada la función objetivo  $F(\underline{X})$ . Por lo tanto, la formulación matemática de la optimización estructural usualmente se expresa de la siguiente manera:

$$\text{Optimice: } F(\underline{X})$$

$$\text{Sujeto a: } g_i(\underline{X}) \leq 0 \quad (i = 1, \dots, n)$$

El procedimiento descrito y expresado matemáticamente por la ecuación (1) puede ser resuelto recurriendo a métodos numéricos para optimización, (Pike R. W.) junto a un proceso iterativo como el que se muestra en el figura N° 1.

**Figura 1.** Diagrama de Flujo – Optimización estructural



## PROCEDIMIENTO DE OPTIMIZACION PROPUESTO

El procedimiento de optimización propuesto para el diseño estructural de vigas sometidas a flexión, resulta ser una alternativa a la metodología tradicional. Está basado fundamentalmente en una formulación precisa de una función objetivo en la que intervienen simultáneamente todas las variables de diseño y que a la vez son controladas por sus respectivas restricciones, las mismas que pueden ser impuestas por las normas de diseño establecidas en el código ACI-318-08 (Morales M.R.), así como por las propiedades mecánicas de los materiales empleados en el diseño.

Matemáticamente, el proceso se basa en expresar tanto la función objetivo, como la funciones de restricción, como una sola expresión de las variables de diseño identificadas en el problema, se escoge una como la variable de diseño principal, mientras que las otras son expresadas en función de esta y son controladas por las condiciones de restricción impuestas y la condición de no negatividad, esta última garantiza la condición de mínimo alcanzado, (Martí P.) Si se verifica el dominio de la función principal y si se cumplen las condiciones de restricción para todas las demás variables se asegura haber alcanzado el mínimo del problema propuesto.

Los siguientes pasos resumen el problema de optimización con máximos y mínimos:

1. Identificar todas las variables de diseño a determinar.
2. Identificar y escribir la función objetivo para la variable de diseño principal que se quiere hacer mínima.
3. Identificar y escribir la función de restricción que relaciona la variable de diseño principal con el resto de las variables dependientes.
4. Escribir la función objetivo en función de la variable de diseño principal.
5. Identificar el dominio de la función objetivo y que los límites de las condiciones impuestas, estén dentro del rango de las restricciones del problema.
6. Aplicar la teoría de máximos y mínimos para calcular el mínimo de la función resultante.

## DISEÑO INTEGRAL COSTO vs RESISTENCIA

Se plantea el diseño de vigas de hormigón armado sometidas a flexión, considerando que las losas macizas unidireccionales son también vigas planas en una dirección, se las incluye también en el análisis respectivo, por lo que el presente trabajo se reduce al análisis y diseño de los siguientes grupos:

- Losa maciza unidireccional o viga de ancho "b" conocido.
- Viga rectangular simplemente reforzada.
- Viga T simplemente reforzada.

## FORMULACION DEL PROBLEMA DE OPTIMIZACIÓN

### Función Objetivo.-

Se plantea la función objetivo como la minimización del costo de la viga de hormigón armado por unidad de longitud, expresada en función de tres variables de diseño como son: la base "b" de la viga, el peralte "d" efectivo y el área de refuerzo por flexión "As". Empleando estas variables de diseño, la función objetivo de manera general se expresa de la siguiente forma:

$$C_{\min} = C_s A_s + C_c (1+t)bd + C_e [b + 2(1+t)d] \quad (2)$$

Donde:

- Cs Costo del acero de refuerzo incluyendo la mano de obra e impuestos en \$US/cm<sup>3</sup>.
- Cc Costo del hormigón incluyendo la mano de obra e impuestos en \$US/cm<sup>3</sup>.
- Ce Costo del encofrado incluyendo la mano de obra e impuestos en \$US/cm<sup>2</sup>.
- b,d Base y peralte efectivo de la viga en cm respectivamente.
- As Área del acero de refuerzo en cm<sup>2</sup>.

Restricciones Geométricas y de Resistencia a la flexión.-

De acuerdo con el Código del Instituto Americano del Concreto (ACI 318-08), se asumen las siguientes hipótesis (ACI):

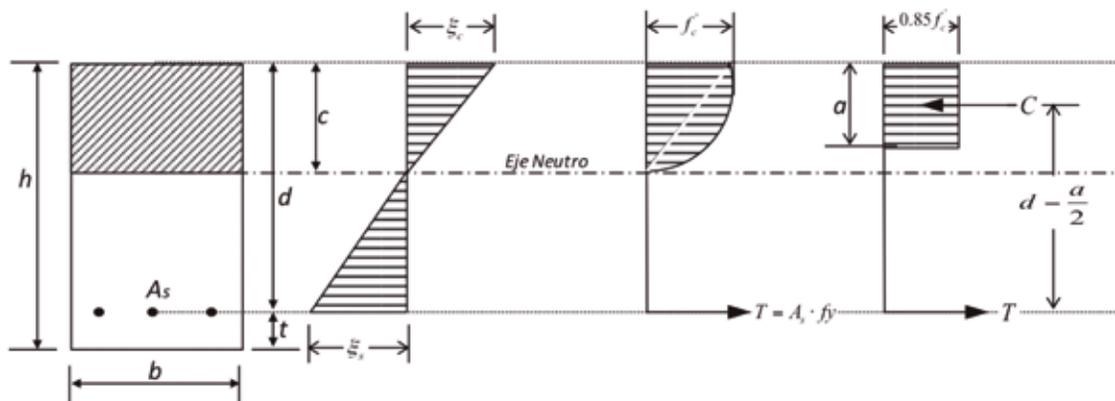
- El concreto no podrá desarrollar una fuerza de compresión mayor a la de su resistencia  $f'c$ .
- El concreto tiene una resistencia a la tracción muy pequeña y su fisuración cuando esta alcanza aproximadamente el 10% de su resistencia  $f'c$ , por lo que se asume que el acero absorbe toda la fuerza de tracción.
- La relación esfuerzo-deformación del concreto se considera lineal aproximadamente hasta que alcanza el 50% de su resistencia.
- Las secciones planas antes de la flexión, permanecen planas y perpendiculares al eje neutro después de la flexión.
- La deformación unitaria máxima del concreto en la rotura es de  $\xi = 0.003$

Según el método de los factores de carga y resistencia, para el diseño es importante conocer la distribución de los esfuerzos normales dentro de la zona crítica en compresión del hormigón.

Según Whitney (Morales M.R.) la distribución de esfuerzos en la zona de compresión del bloque de concreto en la zona crítica, de manera práctica se

asume como rectangular, cuyas características se muestran en la figura N° 2.

**Figura 2.** Distribución de esfuerzos y deformación unitaria en una sección de H<sup>o</sup>A<sup>o</sup>



Donde:

- As Área del acero de refuerzo a optimizar.
- d Peralte efectivo de la viga a optimizar.
- b Ancho de la viga a optimizar.
- t Relación entre el recubrimiento (r) y el peralte efectivo (d) :  $t = r/d$
- fy Esfuerzo de fluencia en el acero.
- f'c Resistencia a la compresión en el hormigón.
- c Profundidad del Eje Neutro en la sección rectangular.
- a Profundidad del bloque de compresión:  $a = \beta_1 \cdot c$  ; con  $\beta_1 = 0.85$  para resistencias del concreto menor a 280 Kg/cm<sup>2</sup>.
- ζc Deformación unitaria en el hormigón.
- ζs Deformación unitaria en el acero.

Para el diseño por flexión, se debe saber que el tipo de falla deseable es la falla dúctil, con la cual la sección desarrolla grandes deformaciones. En estas condiciones el Código ACI-318-08 establece los límites para la cantidad de acero, tomando control mediante la cuantía balanceada, la misma que está definida de acuerdo con la siguiente relación:

$$\rho_b = \beta_1 \cdot 0.85 \cdot \frac{f'_c}{f_y} \left( \frac{6000}{6000 + f_y} \right) \quad (3)$$

La cuantía geométrica, está relacionada directamente con el área de acero "As" e inversamente con el peralte efectivo de la sección rectangular de la viga "d" a través de la siguiente relación:

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d} \quad (4)$$

Cuantía máxima:

$$\rho_{\max} = 0.75 \cdot \rho_b \quad (5)$$

Cuantía mínima:

Para vigas y losas en una dirección se tomará el mayor de los dos siguientes valores:

$$\rho_{\min} = \frac{14}{f_y} \quad \text{ó} \quad \rho_{\min} = 0.80 \cdot \frac{\sqrt{f'_c}}{f_y} \quad (6)$$

y donde  $f'_c$  y  $f_y$  están en Kg/cm<sup>2</sup>

Por lo tanto de esta restricción establecida por el Código, se desprende la primera restricción de carácter geométrico impuesta al diseño, y se puede expresar de la siguiente manera:

$$\rho_{\min} \leq \rho_{\text{óptima}} \leq \rho_{\max} \quad (7)$$

Por otro lado, las dimensiones de la sección transversal "b" y "d" de la viga, pueden manejarse como dos variables de diseño independientes, sin embargo para fines prácticos y con la finalidad de reducir el número de estas variables, se establece la siguiente relación:

$$\beta = \frac{b}{d} \quad (8)$$

Según el ACI 318-08, el ancho "b" de la viga, no debe ser menor que el más pequeño de 0.30h y 25 cm tomando el primero se genera la restricción de la relación "β" entre el ancho y el peralte efectivo.

$$0.30(1+t) \leq \beta_{\text{óptima}} \leq 60\text{cm} \quad (9)$$

El Código ACI 318-08, también establece un criterio fundamental de diseño basado en los factores de carga y de resistencia, el mismo que se expresa de acuerdo con la siguiente expresión:

$$\phi M_n \geq M_u \quad (10)$$

Para vigas de hormigón armado sometidas a flexión, establece que el factor de reducción "φ" que afecta al momento nominal "Mn" debe ser igual a 0.90; mientras que el momento último "Mu" es calculado multiplicando la carga de servicio por sus respectivos factores de mayoración, de esta manera, la expresión (9) queda de la siguiente manera:

$$\phi M_n = \phi \left[ A_s \cdot f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) \right] \geq 1.2M_{DL} + 1.6M_{LL} \quad (11)$$

Donde:

$M_{DL}$  Momento por carga muerta (en nuestro caso se considera como tal el peso propio de la viga) en Kg.cm.

$M_{LL}$  Momento por carga viva actuando sobre la viga en Kg.cm.

La profundidad "a" del bloque de compresión, se establece a partir del equilibrio de fuerzas internas entre las resultantes de Tensión y Compresión, de donde se obtiene con ayuda de la figura N° 2:

$$\Sigma F = 0 ; C = T ; 0.85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b = A_s \cdot f_y \quad (12)$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 \cdot f'_c \cdot b}$$

Finalmente la restricción de comportamiento a flexión queda expresada de la siguiente forma:

$$\phi \left[ A_s \cdot f_y \left( d - \frac{A_s \cdot f_y}{1.7 \cdot f'_c \cdot b} \right) \right] - 1.2\alpha \cdot \gamma_c \cdot b \cdot (1+t) \cdot d \cdot L^2 - 1.6 \cdot M_{LL} \geq 0 \quad (13)$$

Donde:

- α Coeficiente del momento y depende de las condiciones de apoyo de la viga. (α = 0.125 para viga simplemente apoyada).
- γc Peso por unidad de volumen del hormigón en Kg/cm<sup>3</sup>.
- t Relación del recubrimiento al peralte efectivo de la viga (t = r/d).
- L Longitud entre apoyos de la viga en cm
- φ Factor de reducción de resistencia (0.90 para flexión).

## APLICACIÓN A VIGAS SOMETIDAS A FLEXION

### Caso I.- Losa maciza unidireccional o viga simplemente reforzada VSR I de ancho "b" conocido.-

En este caso se asume la variable "b" constante e igual a 100 cm de ancho, dejando como variables de diseño las otras dos variables "d" y "As". Entonces el problema de optimización se plantea de la siguiente manera:

Optimice:

$$C = C_s A_s + C_c (1+t) 100d + C_e [100 + 2(1+t)d] \quad (2-a)$$

Sujeto a: (13-a)

$$\phi \left[ A_s \cdot f_y \left( d - \frac{A_s \cdot f_y}{170 \cdot f'_c} \right) \right] - 120\alpha \cdot \gamma_c \cdot (1+t) \cdot d \cdot L^2 - 1.6 \cdot M_{LL} \geq 0$$

$$\frac{1400}{f_y} \leq \frac{A_s}{d} \leq 75\rho_b \quad (7-a)$$

Las inecuaciones (13-a) y (7-a) corresponden a las restricciones impuestas sobre una losa maciza unidireccional sometida a flexión, ambas se derivan de las inecuaciones (13) y (7) reemplazando en ambas b=100. Ordenando los términos y cuantificando los coeficientes numéricos se obtiene una expresión matemática para minimizar de la forma:

Minimice:  $C = b_1 y + b_2 x + b_3$  (2-b)

Sujeto:  $a_1 y^2 + a_2 yx + a_3 x + a_4 \geq 0$  (13-b)

$$a_5 \leq \frac{y}{x} \leq a_6$$

$$x, y \geq 0$$

Donde:

$$x = d$$

$$y = A_s$$

Los coeficientes numéricos:

$$a_1 = -\frac{\phi f_y^2}{170 f'_c}$$

$$a_2 = \phi f_y$$

$$a_3 = -120\alpha \gamma_c (1+t) L^2$$

$$a_4 = -1.6 M_{LL}$$

$$a_5 = \frac{1400}{f_y}$$

$$a_6 = 75\rho_b$$

$$b_1 = C_s \quad b_2 = (100C_c + 2C_e)(1+t) \quad b_3 = 100C_e$$

El problema puede ahora ser resuelto matemáticamente, la solución óptima se obtiene cuando la función objetivo se expresa en función de la variable de diseño principal, en este caso la variable "y" corresponde al área de refuerzo "As" de la losa, mientras que la variable de diseño dependiente representa ser "x" el peralte efectivo de la losa "d". La condición de restricción impuesta al problema se identifica a partir de la relación As/d valor que debe caer dentro de los límites establecidos por  $\rho_{min}$  y  $\rho_{max}$ , y de este modo se habrá encontrado la solución óptima del problema.

$$x = c_1 y + c_2 \quad (14)$$

$$m y^2 + n y + r = 0 \quad (15)$$

Donde los coeficientes  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $m$ ,  $n$ ,  $r$  valen respectivamente:

$$c_2 = \frac{b_1 a_3}{b_2 a_2} \quad c_1 = \frac{b_1 a_2 - 2 b_2 a_1}{b_2 a_2}$$

$$m = a_1 + a_2 c_1 \quad n = a_2 c_2 + a_3 c_1 \quad r = a_4 + a_3 c_2$$

Resolviendo la ecuación cuadrática (15) y reemplazando su valor positivo en la ecuación (14) se obtienen los valores óptimos del área de refuerzo y peralte efectivo cumpliendo de esta manera con el diseño integral de costo-resistencia.

Como ejemplo numérico, aplicando este procedimiento a una losa maciza unidireccional simplemente apoyada y de acuerdo con los datos de la tabla N° 1, se obtienen los siguientes resultados:

**Tabla 1.** Datos para el problema de optimización – Caso I

Propiedades de los Materiales	
Acero estructural	$f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$
Hormigón Tipo	$f'_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$
Peso del H° por unidad de volumen	$\gamma_c = 0.0024 \text{ Kg/cm}^3$
Propiedades de la sección rectangular	
Base de la viga	$b = 100 \text{ cm}$
Relación de recubrimiento $t = r/d$ :	$t = 0.10$
Características de la viga	
Longitud de cálculo	$L = 300 \text{ cm}$
Carga Viva uniformemente distribuida	$q_{LL} = 7.5 \text{ Kg/cm}$
Coefficiente por condición de apoyo	$\alpha = 0.125$
Momento máximo por carga viva (LL)	$M_{LL} = 84375 \text{ Kg.cm}$
Coefficiente de diseño a flexión:.	$\phi = 0.90$
Parámetros de la función costo	
Costo del acero estructural	$C_s = 0.014662 \text{ \$us/cm}^3$
Costo del hormigón	$C_c = 0.000105 \text{ \$us/cm}^3$
Costo del encofrado	$C_e = 0.000665 \text{ \$us/cm}^2$
Restricciones de diseño o de optimización	
Cuantía geométrica mínima	$14/f_y = 0.0033$
Cuantía geométrica máxima	$0.75 \rho b = 0.0159$

Los cálculos previos se resumen en las siguientes tablas:

**Precios Unitarios:** Se asumen los precios unitarios del mercado de la construcción, probablemente con ligeras variaciones, aunque esto no representa un óbice para el efecto demostrativo que se

le quiere dar al presente trabajo. Estos precios podrían también incluir costo de mano de obra, equipos y hasta impuesto, sin embargo, estos costos prácticamente son fijos y por lo tanto no influyen de manera determinante en la función costo (Borda FJ.).

**Tabla 2.** Precios de los ítems componentes del H°A° para la función costo

Precios Unitarios de los ítems componentes del hormigón armado			
Acero	13.00 Bs/Kg	=	0.102050 Bs/cm <sup>3</sup> = 0.014662 \$us/cm <sup>3</sup>
Hormigón	727.80 Bs/m <sup>3</sup>	=	0.000728 Bs/cm <sup>3</sup> = 0.000105 \$us/cm <sup>3</sup>
Encofrado	4.30 Bs/pie <sup>2</sup>	=	0.004628 Bs/cm <sup>2</sup> = 0.000665 \$us/cm <sup>2</sup>

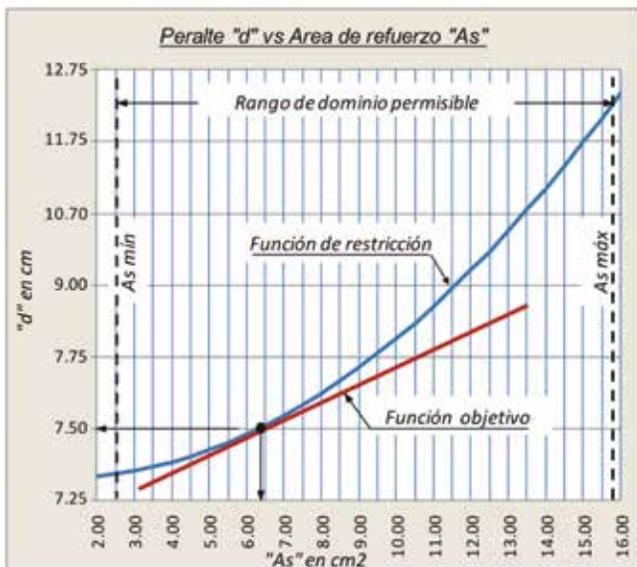
Coefficientes numéricos: De acuerdo con los datos del problema planteado y los cálculos previos se obtienen los coeficientes numéricos que se utilizarán en el proceso de optimización y diseño integral, costo-resistencia.

**Tabla 3.** Coeficientes numéricos – Caso I

<b>a1</b>	<b>a2</b>	<b>a3</b>	<b>a4</b>
-444.7	3780.0	-3564.0	-135000.0
<b>b1</b>	<b>b2</b>	<b>b3</b>	
0.01466	0.0129657	0.06650	
<b>c1</b>	<b>c2</b>		
1.366124	-1.066211		
<b>m</b>	<b>n</b>	<b>r</b>	
4719.24	-8899.14	-131200.02	

Finalmente el problema está representado en el gráfico N° 1, en él se observa la zona de diseño permisible, limitada por las restricciones geométricas y de resistencia a flexión. La solución óptima se encuentra a partir de que la función costo se convierte en tangente a la función de restricción dentro del rango de dominio permisible.

**Figura 3.** representación del proceso de optimización de una losa maciza unidireccional



Este punto se identifica como el punto de solución óptima, y es el punto donde la pendiente de

la recta iguala a la pendiente de la función de restricción, verificando que el valor de As se encuentra dentro de los límites establecidos por As<sub>min</sub> y As<sub>max</sub>, se concluye indicando haber encontrado la solución óptima del problema. Matemáticamente se llega a los mismos resultados resolviendo las ecuaciones (14) y (15), los mismos que son coincidentes con los del gráfico N° 1.

A objeto de comparar resultados se ha resuelto la misma losa maciza unidireccional mediante el procedimiento prueba y error, recomendado por el Código del ACI 318-08, los resultados se presentan en tabla N° 4.

**Tabla 4.** Cuadro Comparativo de resultados finales

Diseño mediante	As [cm <sup>2</sup> ]	d [cm]	ρ
Ecuaciones (14) y (15) del proceso de optimización	6.2992	7.5392	0.00840
Gráfico N° 1 del proceso de optimización	6.35	7.50	0.00847
Procedimiento manual según ACI 318 - 2008	7.35	6.76	0.01087

Los valores de "A<sub>s</sub>" y "d" encontrados anteriormente son reemplazados en la ecuación (2-b) y se consigue el costo mínimo de la sección: **C = 25.57 \$us/m** o lo que es lo mismo para la losa unidireccional de ancho b = 1 m y altura h = 1.10 \* d = 1.10\*7.54 = 8.29 cm ; **C = 308.44 \$us/m<sup>3</sup> = 2146.77 Bs/m<sup>3</sup>**

**Caso II.- Viga rectangular simplemente reforzada VSR II de ancho "b" desconocido.-**

Se establecen como variables de diseño el área de refuerzo "A<sub>s</sub>", el ancho de la sección rectangular "b" y el peralte efectivo "d" de la viga; entre las mismas se establecen las siguientes relaciones:

$$\beta = \frac{b}{d} ; \rho = \frac{A_s}{bd}$$

De esta manera se plantean las siguientes restricciones:

$$0.35 \leq \beta \leq 1 \quad (16)$$

$$\rho_{\min} \leq \rho \leq \rho_{\max} \quad (17)$$

$$A_s, b, d > 0$$

$$\phi M_n - M_u \geq 0 \quad (18)$$

$$\left(1 - \frac{\rho f_y}{1.70 \cdot f_c}\right) \phi \cdot \rho \cdot \beta \cdot f_y \cdot d^3 - 1.20 \alpha \cdot \beta \cdot \gamma_c \cdot L^2 (1+t) d^2 - 1.60 M_{LL} \geq 0$$

Haciendo:

$$a_1 = \left(1 - \frac{\rho f_y}{1.70 \cdot f_c}\right) \phi \cdot \rho \cdot \beta \cdot f_y ; a_2 = -1.20 \alpha \cdot \beta \cdot \gamma_c \cdot L^2 (1+t);$$

$$a_3 = -1.60 M_{LL}$$

La restricción de resistencia se puede expresar de la siguiente manera:

$$f_{(d)} = a_1 \cdot d^3 + a_2 \cdot d^2 + a_3 \geq 0 \quad (18 - a)$$

La función costo se expresa en términos de las variables de diseño como:

$$C_{(d)} = [C_s \rho \beta + C_c \beta (1+t)] d^2 + C_e 2(1+t) d + C_e \beta \quad (19)$$

Haciendo:

$$b_1 = [C_s \rho \beta + C_c \beta (1+t)] ; \quad b_2 = C_e 2(1+t) ; \quad b_3 = C_e \beta$$

Entonces el problema de optimización tiene la siguiente estructura matemática:

$$\text{Minimice:} \quad C_{(d)} = b_1 d^2 + b_2 d + b_3 \quad (19 - a)$$

Sujeto:

$$f_{(d)} = a_1 \cdot d^3 + a_2 \cdot d^2 + a_3 \geq 0 \quad (18 - a)$$

$$0.35 \leq \beta \leq 1 \quad (16)$$

$$\rho_{\min} \leq \rho \leq \rho_{\max} \quad (17)$$

$$A_s, b, d > 0$$

Se observa que el problema de optimización planteado, involucra una sola variable de diseño independiente "d". Basándonos en esta observación las otras variables de diseño pueden obtenerse usando las relaciones (16) y (17) dentro de los rangos correspondientes. Ahora bien llevando la restricción (18-a) al límite ( $f_{(d)} = 0$ ) se observa que el punto de intersección entre la función costo y la función de restricción representa el punto de tangencia común por lo tanto representa el valor óptimo de la variable de diseño independiente "d". Entonces, igualando (18-a) y (19-a) se obtiene:

$$g_{(d)} = a_1 d^3 + (a_2 - b_1) d^2 - b_2 d + (a_3 - b_3) = 0 \quad (20)$$

Esta es una ecuación de tercer grado, que puede ser resuelta mediante métodos numéricos, en nuestro caso recurrimos al método de Newton-Raphson, con una aproximación al resultado no mayor 0.001, es decir:  $\xi < 0.001$ . Las otras variables de diseño se moverán dentro del rango de su dominio permisible.

Aplicando este procedimiento a un ejemplo concreto, en la tabla N° 5 se resumen los datos iniciales del problema.

**Tabla 5.** Datos para el problema de optimización – Caso II

Propiedades de los Materiales	
Acero estructural	$f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$
Hormigón Tipo	$f_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$
Peso del H° por unidad de volumen:	$\gamma_c = 0.0024 \text{ Kg/cm}^3$
Propiedades de la sección rectangular	
Relación base/peralte $\beta = b/d:$	$\beta = 0.67$
Relación de recubrimiento $t = r/d:$	$t = 0.10$
Características de la viga	
Longitud de cálculo	$L = 500 \text{ cm}$
Carga viva uniformemente distribuida	$q_{LL} = 7.50 \text{ Kg/cm}$
Coefficiente por condición de apoyo	$\alpha = 0.125$
Momento máximo por carga viva (LL)	$M_{LL} = 234375 \text{ Kg.cm}$
Coefficiente de diseño a flexión	$\phi = 0.90$
Parámetros de la función costo	
Costo del acero estructural	$C_s = 0.014662 \text{ \$us/cm}^3$
Costo del hormigón	$C_c = 0.000105 \text{ \$us/cm}^3$
Costo del encofrado	$C_e = 0.000665 \text{ \$us/cm}^2$
Restricciones de diseño o de optimización	
Cuantía geométrica mínima	$14/f_y = 0.0033$
Cuantía geométrica promedio (inicial)	$\rho = 0.0078$
Cuantía geométrica máxima	$0.75 \rho_b = 0.0159$

Coefficientes numéricos: De acuerdo con los datos del problema planteado y los cálculos previos se obtienen los coeficientes numéricos para resolver el proceso de optimización y diseño integral, costo-resistencia.

Resolviendo la ecuación (20) de tercer grado, los valores numéricos se muestran en la tabla N° 7.

**Tabla 6.** Coeficientes numéricos – Caso II

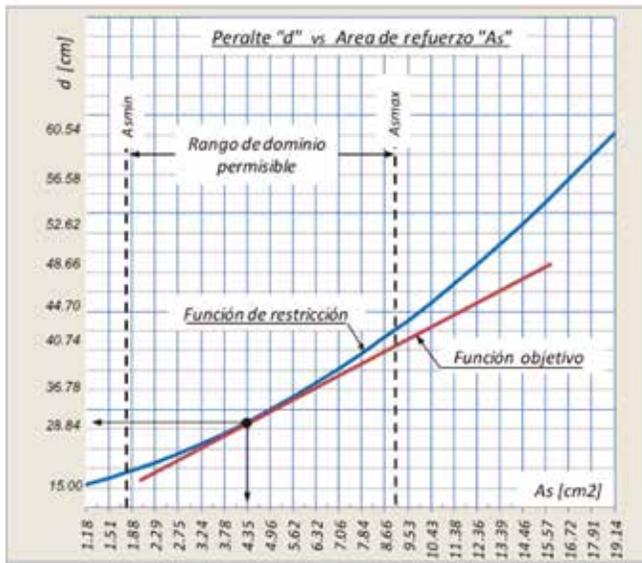
<b>a1</b>	<b>a2</b>	<b>a3</b>
17.9415	-66.3300	-375000.0
<b>b1</b>	<b>b2</b>	
0.000154	0.001909	

**Tabla 7.** Resultados de la ecuación (20) mediante Newton-Raphson

<b>dn</b>	<b>g(d)</b>	<b>q'(d)</b>	<b>dn+1</b>	<b>Δd</b>	<b>b</b>	<b>As</b>	<b>Costo/cm</b>
15.00	-329371.63	10120.63	47.545	32.545	10.050	1.176	0.0633
16.98	-306288.35	13266.16	40.068	23.088	11.377	1.507	0.0768
18.96	-276559.11	16833.71	35.389	16.429	12.703	1.879	0.0915
20.94	-239348.31	20823.30	32.434	11.494	14.030	2.292	0.1075
22.92	-193820.32	25234.91	30.601	7.681	15.356	2.745	0.1246
24.90	-139139.53	30068.55	29.527	4.627	16.683	3.240	0.1430
26.88	-74470.33	35324.22	28.988	2.108	18.010	3.776	0.1626
<b>28.84</b>	<b>-1.22</b>	<b>40927.59</b>	<b>28.835</b>	<b>0.000</b>	<b>19.319</b>	<b>4.345</b>	<b>0.1831</b>
30.82	86999.23	47021.99	28.965	-1.850	20.646	4.962	0.2051
32.80	186484.39	53538.41	29.312	-3.483	21.973	5.621	0.2282
34.78	299289.88	60476.86	29.826	-4.949	23.299	6.320	0.2526
36.76	426251.31	67837.34	30.472	-6.283	24.626	7.060	0.2782
38.74	568204.29	75619.85	31.221	-7.514	25.952	7.841	0.3050
40.72	725984.44	83824.38	32.054	-8.661	27.279	8.663	0.3330
42.70	900427.38	92450.94	32.955	-9.740	28.606	9.526	0.3622
44.68	1092368.72	101499.54	33.913	-10.762	29.932	10.430	0.3926
46.66	1302644.08	110970.15	34.916	-11.739	31.259	11.375	0.4243
48.64	1532089.07	120862.80	35.959	-12.676	32.585	12.361	0.4571
50.62	1781539.31	131177.47	37.034	-13.581	33.912	13.388	0.4912
52.60	2051830.41	141914.18	38.137	-14.458	35.239	14.456	0.5264
54.58	2343797.99	153072.91	39.263	-15.312	36.565	15.565	0.5629
56.56	2658277.66	164653.67	40.410	-16.145	37.892	16.715	0.6005
58.54	2996105.04	176656.45	41.575	-16.960	39.218	17.906	0.6394
60.52	3358115.75	189081.27	42.755	-17.760	40.545	19.138	0.6795

El problema es representado en el gráfico N° 2, la solución óptima se encuentra en el punto de tangencia entre la función objetivo y la función de restricción por resistencia, el mismo que se encuentra dentro del rango de dominio permisible.

**Figura 4.** Representación del proceso de optimización de una viga simplemente reforzada



Habiendo encontrado la solución óptima, es decir:  
 $d = 28.84 \text{ cm}$ ,  $A_s = 4.35 \text{ cm}^2$   
 $b = 19.32 \text{ cm}$   
 Se verifican las restricciones geométricas impuestas:

$$0.35 \leq \frac{b}{d} \leq 1$$

$$0.35 \leq 0.677 \leq 1$$

$$\rho_{\min} \leq \frac{A_s}{bd} \leq \rho_{\max}$$

$$0.0033 \leq 0.0078 \leq 0.0159$$

Se concluye indicando haber encontrado la solución óptima del problema.

Estos resultados son comparados con los encontrados mediante el procedimiento de diseño prueba y error, recomendado por el Código del ACI 318-08, los resultados se presentan en la tabla N° 8.

**Tabla 8.** Resumen comparativo de resultados finales

Diseño mediante	$A_s$ [cm <sup>2</sup> ]	$d$ [cm]	$d$ [cm]
Newton-Raphson ecuación (20) proceso de optimización	4.35	28.84	19.32
Procedimiento manual según ACI 318 - 2008	4.56	28.65	20.00

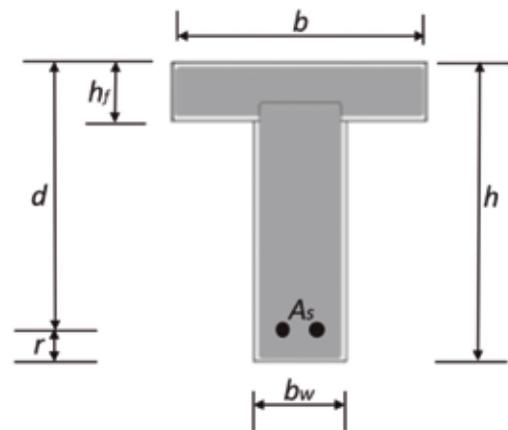
Resultados que verifican la validez del procedimiento de diseño integral costo-resistencia. El valor del costo óptimo, resulta ser:

$$C = 18.31 \text{ \$us/m}; C = 328.62 \text{ \$us/m}^3 = 2287.15 \text{ Bs/m}^3$$

**Caso III.- Viga T simplemente reforzada VTSR .-**

En este tipo de vigas, las alas proporcionan un gran refuerzo a compresión, por lo que este tipo de secciones generalmente son simplemente reforzadas. En el análisis de estas vigas, se debe tomar en cuenta la profundidad "a" del bloque de compresión, puede darse que este sea menor al espesor del ala "hf" o que sea mayor, en este caso la viga tiene un comportamiento como viga T, caso contrario se comporta como viga rectangular de ancho "b".

**Figura 5.** Sección transversal Viga T



El problema de optimización para el costo mínimo se plantea de la siguiente manera:

Minimice:  $C = b_1 A_s^2 + b_2 d + b_3$  (21)

Sujeto:  $a_1 A_s + a_2 A_s d - a_3 - a_4 d \geq 0$  (22)

$$\rho_{\min} \leq \rho \leq \rho_{\max}$$

$$h_f \leq a \leq \frac{d}{2}$$
 (23)

$$A_s, d, a > 0$$
 (24)

Los coeficientes numéricos de las funciones costo y de restricción están definidos como siguen:

$$a_1 = \left[ \frac{\phi f_y C}{2} (a - h_f) - \frac{\phi f_y}{2} a \right]; a_2 = \phi f_y$$

$$a_3 = 1.2 \alpha \cdot \gamma_c L^2 (b - b_w) h_f + 1.6 M_{LL}; a_4 = 1.2 \alpha \cdot \gamma_c L^2 b_w (1 + t)$$

$$b_1 = C_s; b_2 = (C_c b_w + 2C_c)(1 + t)$$

$$b_3 = C_c (b - b_w) h_f + C_c [2(b - h_f) - b_w]$$

$$C = \frac{(b - b_w) h_f}{(b - b_w) h_f + a b_w}$$
 (25)

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f_c b_w} - h_f \left( \frac{b_w}{b} - 1 \right)$$
 (26)

Donde, "C" representa la fuerza resultante de compresión generada por las fuerzas internas en el bloque de compresión del hormigón y "a" es la profundidad del mismo bloque, todos los demás términos han sido definidos anteriormente.

La solución óptima se obtiene igualando las pendientes de las ecuaciones (21) y (22), luego de algunas simplificaciones matemáticas se encuentra la ecuación (27), que permite calcular el área de refuerzo "A<sub>s</sub>":

$$mA_s^2 + nA_s + r = 0 \quad (27)$$

Donde los coeficientes m, n, r valen respectivamente:

$$m = \frac{b_1 a_2}{b_2}$$

$$n = \frac{2(b_2 a_1 - b_1 a_4)}{b_2}$$

$$r = \frac{b_1 a_4^2 + b_2 a_1 a_4 - b_2 a_2 a_3}{b_2 a_2}$$

Y el peralte efectivo "d" de la viga:

$$d = c_1 A_s - c_2 \quad (28)$$

$$c_1 = \frac{b_1}{b_2} ; c_2 = \frac{b_1 a_4 + b_2 a_1}{b_2 a_2}$$

Seguidamente se verifica la profundidad "a" del bloque de compresión mediante la ecuación (26) que se compara con el espesor del ala "hf", si este es mayor la viga se comporta como viga T y se procede, mediante un proceso rápido de convergencia, a un ajuste del valor de "a", en estas condiciones se habrá encontrado la solución óptima de "A<sub>s</sub>" y "d". Si la profundidad del bloque de compresión es menor que el espesor del ala, la viga se comporta como viga rectangular de ancho igual a "b" y se procede como en los casos anteriores (Caso II)

Un ejemplo numérico aplicando este procedimiento para una viga simplemente apoyada de sección T y de acuerdo con los datos de la tabla N° 9 arroja los siguientes resultados:

**Tabla 9.** Datos para el problema de optimización – Caso III

Propiedades de los Materiales	
Acero estructural	f <sub>y</sub> = 4200 Kg/cm <sup>2</sup>
Hormigón Tipo	f'c = 210 Kg/cm <sup>2</sup>
Peso del H° por unidad de volumen	γ <sub>c</sub> = 0.0024 Kg/cm <sup>3</sup>
Propiedades de la sección rectangular	
Espesor del ala	hf = 6.00 cm
Base de la viga	b <sub>w</sub> = 15.00 cm
Ancho del ala de la viga T	b = 35.00 cm
Relación de recubrimiento t = r/d	t = 0.10
Coefficiente de diseño a flexión	φ = 0.90
Características de la viga	
Longitud de cálculo	L = 450 cm
Carga viva uniformemente distribuida	q = 7.50 Kg/cm
Coefficiente por condición de apoyo	α = 0.125
Momento máximo por carga viva (LL)	M <sub>u</sub> = 303750 Kg.cm
Parámetros de la función costo	
Costo del acero estructural	C <sub>s</sub> = 0.014662 \$us/cm <sup>3</sup>
Costo del hormigón	C <sub>c</sub> = 0.000105 \$us/cm <sup>3</sup>
Costo del encofrado	C <sub>e</sub> = 0.000665 \$us/cm <sup>2</sup>
Restricciones de diseño o de optimización	
Cuantía geométrica mínima	14/f <sub>y</sub> = 0.0033
Cuantía geométrica máxima	0.75 <sup>ρ</sup> b = 0.0159
Límites del bloque de compresión	hf < a < d/2

**Coefficientes numéricos:** Se calcularon los coeficientes numéricos los mismos que se muestran en la tabla N° 10.

**Tabla 10.** Coeficientes numéricos – Caso III

<b>a1</b>	<b>a2</b>	<b>a3</b>	<b>a4</b>
-12195.47	3780.00	312498.00	1202.85
<b>b1</b>	<b>b2</b>	<b>b3</b>	
0.01466	0.0031955	0.04120	
<b>m</b>	<b>n</b>	<b>r</b>	
17343.88	-35429.08	-314622.53	
<b>c1</b>	<b>c2</b>		
4.5883	-1.7662		

Los resultados finales se encuentran luego de resolver las ecuaciones (25) y (26)

$$A_s = 5.41 \text{ cm}^2 \quad d = 26.60 \text{ cm}$$

Finalmente se verifica el cumplimiento de las restricciones impuestas en el planteamiento inicial del problema, tal como se observa en la tabla N° 11. En consecuencia se puede asegurar que se ha alcanzado la solución óptima que minimiza la función costo.

**Tabla 11.** Verificación de las condiciones de restricción

$\rho_{min}$	<	$\rho$	<	$\rho_{max}$
0.0033	<	0.0097	<	0.0159
$hf$	<	$a$	<	$d/2$
6.000	<	7.06	<	13.301

### Cuantía geométrica y profundidad del bloque de compresión

El costo mínimo:  $C = 20.52 \text{ \$us/m}$ ;  
 $C = 367.70 \text{ \$us/m}^3 = 2559.21 \text{ Bs/m}^3$

## DISCUSION

El procedimiento de optimización aplicado al diseño estructural de vigas sometidas a flexión, resulta ser una alternativa a la metodología tradicional. Está basado fundamentalmente en una formulación precisa de una función objetivo en la que intervienen simultáneamente todas las variables de diseño y que son controladas por sus respectivas restricciones, las mismas que pueden ser impuestas por las normas y códigos de diseño establecido.

La mayoría de los procedimientos o métodos de optimización que se presentan en la amplia literatura teórica de optimización, así como la complejidad de las funciones no lineales que se plantean para la resolución de problemas estructurales y por su lento y difícil proceso de

convergencia no los hacen atractivos para una aplicación práctica en el campo del diseño estructural; a no ser que estos vengan implementados en programas informatizados especializados y de los cuales el ingeniero usuario desconoce el complejo proceso que se desarrolla para su implementación.

Queda demostrado que el procedimiento de diseño estructural a través de la integración simultánea de la función costo o función objetivo, con las variables de diseño ingenieril se puede llevar adelante mediante la utilización de técnicas o métodos de optimización bastante simples como es el de formulación matemática de una función a una sola variable aplicando la teoría de máximos y mínimos sin mayor complicación.

Dentro del rango del dominio permisible de las variables de diseño, los resultados alcanzados son válidos, no negativos y únicos, por lo tanto garantizan el diseño integral a través del costo mínimo y de la resistencia a la flexión en vigas sometidas a este tipo de comportamiento.

Con la ayuda de planillas electrónicas como "Excel" rápidamente se permite implementar un proceso de diseño óptimo integral sin más complicaciones que la de formular los coeficientes numéricos del problema de una manera sistemática y ordenada de modo que se resuelve el problema sin mayores costos de tiempo adicionales para el diseñador.

Finalmente, este procedimiento ha sido planteado para el caso de vigas sometidas a flexión, sin embargo para futuras investigaciones este procedimiento puede ser extendido a problemas de diseño, tales como columnas, vigas sometidas a cortante, problemas con control de deflexión, etc.

## BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez G. E. (1996) Optimum Design of Plane Frames in Reinforced Concrete - M.sc. Thesis – University of Toledo – Ohio – USA.
- American Concrete Institute (2008) Building Code Requirements for Reinforced Concrete. ACI 318-08 Detroit - USA
- Borda F. J. – Rodríguez G. (2010) Optimización de Secciones Transversales de Pórticos de Hormigón Armado Mediante Uso de la Técnica de Programación Cuadrática Secuencial SPQ – Asociación Argentina de Mecánica

- computacional – Mecánica Computacional Vol. XXIX – Buenos Aires – Argentina.
- Coello C. C. - Santos H. - Alonso F. (1996) Diseño Óptimo de Vigas de Concreto Reforzado Mediante Algoritmos Genéticos – Escuela de Ingeniería Civil – Universidad Autónoma de Chiapas – México.
  - Eschenauer H. - Olhoff N. - Schnell W. (1997) Applied Structural Mechanics – Fundamentals of Elasticity, Load Bearing Structures and Structural Optimization – Springer – Berlin – Alemania.
  - Eyorokon T. V. (1986) Structural Design by Optimization Techniques – M.sc. Thesis – University of Toledo – Ohio – USA.
  - Hernandez S. (1993) Advanced Techniques in the Optimum Design of Structures – Computational Mechanics – School of Civil Engineering – University of La Coruña – España.
  - Krishnamoorthy C. S. (1996) Nonlinear Analysis and Optimal Design of Concrete Framed Structures – Indian Institute of Technology – India.
  - Martí P. - Martínez P. - Torrano S. (2000) Aplicación de las Técnicas de Optimización en el Proceso de Diseño de Estructuras – Dpto. de Estructuras y Construcción – Universidad de Murcia – España.
  - Morales M. R. (2000) Diseño en Concreto Armado – I Congreso Nacional de Estructuras y Construcción – Capítulo ACI – Lima - Perú.
  - Pike Ralph W. (1996) Optimization for Engineering Systems – Van Nostrand Reinhold Company – New York – USA.

## REVESTIMIENTOS CON BASE ENTROPICA, PARA LA MANCOMUNIDAD DEL VALLE CENTRAL: MENDEZ, CERCADO, Y URIONDO

### FINISHES WITH ENTROPIC BASE, FOR COMMUNITIES OF THE CENTRAL VALLEY: MENDEZ, CERCADO AND URIONDO

Alvarado Cabello Cinthia Karina<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Investigador Junior – Departamento de Arquitectura y Urbanismo – Carrera de Arquitectura y Urbanismo - Facultad de Ciencias y Tecnología - Universidad Autonoma "Juan Misael Saracho"

**Correo electrónico:** nesarquitectura@gmail.com

#### RESUMEN

En el presente trabajo de Investigación se pretende aportar a la Sociedad con una alternativa constructiva ecológica y además biodegradable, los revestimientos ecológicos a elaborar serán en base a arcillas de diferentes variedades y colores que se puedan encontrar en el medio (valle central de Tarija), la cual es abundante. Las arcillas mediante un método experimental serán mezcladas con diferentes estabilizantes naturales (materiales orgánicos) hasta obtener los revestimientos más óptimos para su aplicación de acuerdo a los diferentes tipos de muros, dependiendo del material con el que estén elaborados. Es así que mediante pruebas de campo y laboratorio (pruebas de permeabilidad, retracción, etc.) llegaremos a obtener revestimientos que además de ser resistentes a los fenómenos climatológicos serán bien elaborados, serán estéticos y sobre todo ecológicos que es nuestra premisa más importante.

Al ser un trabajo experimental los alcances pueden ser diversos, pero por sobre todo serán trabajados y elaborados con dedicación para obtener el mejor material aplicable para nuestro medio y sobre todo que refleje la belleza de la arcilla en los enlucidos de nuestras construcciones como un material noble que nos regala la Naturaleza y que no sabemos aprovechar, recuperando de esta manera, la cultura arquitectónica que es parte de nuestra Identidad y tradición.

#### ABSTRACT

In the present work of research is aims to contribute to the society with an alternative constructive ecological and also biodegradable. The ecological finishes to develop will be based on clays of different varieties and colors that are can find in the half (Central Valley of Tarija), which is abundant. The clay through an experimental

method will be moisture with different natural stabilizers (organic materials) to get the finishes more optimal for your application according to the different types of walls, depending on the material with which are made. So through field testing and laboratory (testing of permeability, shrinkage, etc.) will arrive to obtain coatings that besides being resistant to weather events will be well prepared, will be over all ecological and aesthetic that is our premise more important.

To be an experimental work, reaches may be different, but over all they will be worked and prepared with dedication to obtain the best material applicable to our environment and over all reflecting the beauty of the clay in the plaster of our constructions as a noble material which gives us the nature and do not know to take advantage of recovering the architectural culture that is part of our identity and tradition.

#### INTRODUCCION:

La crisis energética y sobre todo ambiental que hoy atraviesa nuestro planeta es alarmante, cada vez vemos más países destruidos por fenómenos naturales, las enfermedades, la escases del agua a nivel general, todo esto nos lleva a reflexionar que como seres humanos vivos, no hacemos nada por cuidar nuestro planeta, nuestra casa, y no hacerle más daño, sino que aportar para contribuir a protegerla y cuidarla. En la antigüedad, las primeras casas y ciudades se construyeron con tierra cruda. Hoy, para levantar nuestros hogares empleamos materiales de elevada energía incorporada, de difícil reciclaje y que en ocasiones incluso incorporan elementos tóxicos. Puede que haya motivos más que justificados para volver a reivindicar la sencillez y propiedades del barro. La tierra como material de construcción está disponible en cualquier lugar y en abundancia. Sus ventajas, que desgranaremos más adelante, son múltiples. Y aunque fueron las casas más primitivas

las que se edificaron con tierra cruda, estas técnicas no son algo del pasado: hoy en día, de un tercio a la mitad de la población mundial vive en casas de tierra. En los lugares en que es tradicional se mantiene, y en algunos países desarrollados se continúan llevando a cabo experiencias y se investiga sobre sus aplicaciones incluso a nivel de construcción plurifamiliar o prefabricada. Buenas noticias, pues, para el entorno y la construcción más responsable.

La Naturaleza nos ofrece un material noble para la construcción (La arcillas) que en nuestro medio, su existencia es abundante, no muy accesible pero no imposible de alcanzar. Nuestra ciudad en sus inicios utilizaba este material como materia prima básica para la construcción, era parte de nuestra identidad como pueblo, con técnicas artesanales sencillas y para nada agresivas al medio natural, es momento de volver a nuestras raíces, y colaborar con el equilibrio natural. Con este trabajo de investigación se pretende dar un pequeño aporte, LOS REVESTIMIENTOS ECOLOGICOS, que serán solo el inicio de una gran cadena de alternativas limpias y no contaminantes en el ámbito de la construcción.

**METODO DE INVESTIGACION:**

La elaboración de este trabajo de investigación utilizará como recurso la investigación experimental y cuasi experimental donde se logrará obtener mediante pruebas y ensayos, los mejores componentes para un buen revestimiento ecológico, con las propiedades mínimas necesarias que respondan satisfactoriamente a la impermeabilización de las edificaciones ante los fenómenos climatológicos.

**REVESTIMIENTOS**

El revestimiento, lo podemos definir como todo elemento superficial que aplicado sobre la cara

de otro elemento constructivo, mejora su aspecto estético y otras propiedades.

Consiste en una materia pulverulenta o pigmento, un medio aglutinador que mantiene la unión de aquellas y con el soporte, o ligante, y por último un vehículo donde se mantiene el conjunto hasta su aplicación, el disolvente, que en el caso de las emulsiones es el agua.

También están los aditivos, que entran a formar parte, en muy pequeña proporción, pero que su presencia es imprescindible para fines específicos.

**ESTABILIZACION**

Llamamos estabilización de un suelo al proceso mediante el cual se someten los suelos naturales a cierta manipulación o tratamiento de modo que podamos aprovechar sus mejores cualidades, obteniéndose un firme estable, capaz de soportar los efectos del tránsito y las condiciones de clima más severas.

**TIPOS DE ESTABILIZACION**

Entre los tipos de estabilización que se conocen y practican tenemos:

**Estabilización Física:** para mejorar el suelo produciendo cambios físicos en el mismo.

**Estabilización Química:** utilización de ciertas sustancias químicas patentizadas y cuyo uso involucra la sustitución de iones metálicos y cambios en la constitución de los suelos involucrados en el proceso.

**Estabilización Mecánica:** mejorar considerablemente un suelo sin que se produzcan reacciones químicas de importancia.

<p><b>EXTRACTOS DE SUELO</b></p> <p>Una vez identificados los bancos de suelo se debe realizar la extracción de muestras para realizar con ellas las pruebas de campo y sensoriales. Entonces se realiza una excavación mínimo de 20 cm si el suelo no es orgánico o con restos, y 80 cm. en casos de poca cobertura vegetal. Se tomaron 3 muestras de distintos lugares los cuales son.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Extracto N°1: ARCILLA BLANCA (Barrio 3 de Mayo)</li> <li>• Extracto N°2: ARCILLA VERDE (San Andrés)</li> <li>• Extracto N°3: ARCILLA PLOMA (El Valle)</li> <li>• Extracto N°4: ARCILLA AMARILLA (Barrio Panamericano)</li> </ul>	<p><b>PESO LITRO DE LOS MATERIALES</b></p> <p>El peso litro de los componentes del suelo son datos que se deben considerar para así dosificar nuestra combinaciones para cada tipo de revestimiento.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>MATERIALES:</th> <th>PESO LITRO (SUELTO) grs.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Arcilla Blanca</td><td>1014</td></tr> <tr><td>Arcilla Verde</td><td>1016</td></tr> <tr><td>Arcilla Ploma</td><td>814</td></tr> <tr><td>Arcilla Amarilla</td><td>1000</td></tr> <tr><td>Arena</td><td>1565</td></tr> <tr><td>Sábila</td><td>--</td></tr> <tr><td>Suero</td><td>--</td></tr> <tr><td>Abono</td><td>--</td></tr> <tr><td>Paja</td><td>--</td></tr> <tr><td>Lana</td><td>--</td></tr> </tbody> </table>	MATERIALES:	PESO LITRO (SUELTO) grs.	Arcilla Blanca	1014	Arcilla Verde	1016	Arcilla Ploma	814	Arcilla Amarilla	1000	Arena	1565	Sábila	--	Suero	--	Abono	--	Paja	--	Lana	--
MATERIALES:	PESO LITRO (SUELTO) grs.																						
Arcilla Blanca	1014																						
Arcilla Verde	1016																						
Arcilla Ploma	814																						
Arcilla Amarilla	1000																						
Arena	1565																						
Sábila	--																						
Suero	--																						
Abono	--																						
Paja	--																						
Lana	--																						

## TIPOS DE ESTABILIZADORES

Los **estabilizadores disponibles** en la naturaleza más comúnmente utilizados en construcciones tradicionales son:

- Arena y arcilla, Paja y fibras de plantas, Jugos de plantas (savia látex, aceites), cenizas de madera, excremento de animal (principalmente estiércol y orina de caballo). Otros productos de animales (sangre, pelo, cola, hormigueros, etc.).

Los estabilizadores manufacturados más comunes, (por ejemplo, productos y subproductos de las industrias locales o de los grandes procesos industriales) son:

- Cal y puzolana, cemento portland, es, asfalto, estabilizadores de suelo comerciales, silicato de sodio ("vidrio soluble"), resinas, sueros (caseína), melaza.

## IDENTIFICACION DE LOS BANCOS DE ARCILLA

Se pudieron identificar para su estudio los bancos de arcilla en la mancomunidad (CERCADO-MENDEZ Y URIONDO)

El peso litro de los componentes del suelo son datos que se deben considerar para así dosificar nuestra combinaciones para cada tipo de revestimiento.

## DETERMINACIÓN DE LAS PROPORCIONES DE LOS COMPONENTES DE CADA TIPO DE REVESTIMIENTO

Para la elaboración de los revestimientos de arcilla el proceso inicial es la determinación de las proporciones de sus componentes, la dosificación se ajusta de acuerdo a proporciones que varíen sus componentes dentro de un 100%o: compuesto por arcilla (donde se incluye el limo) y arena.

En el cual se incluirá en dosificaciones de 10, 20 y 30% los estabilizantes seleccionados fuera del 100% antes mencionado.

A continuación se muestran los tipos de combinación que se realizaron en la investigación y su relación para dosificación con volúmenes litro.

## RETRACCION

Figura 1. Revestimiento tipo "A"

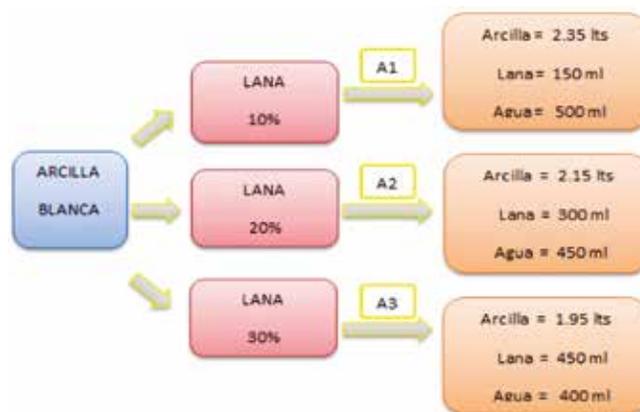


Figura 2. Revestimiento tipo "B"

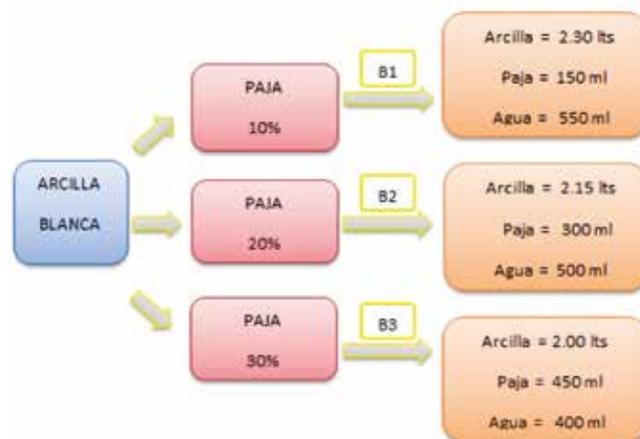
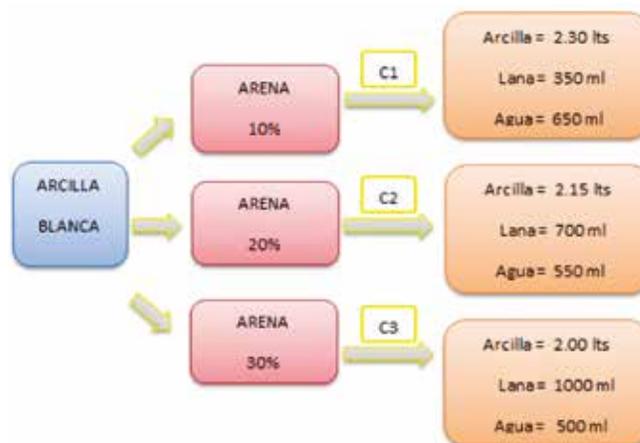
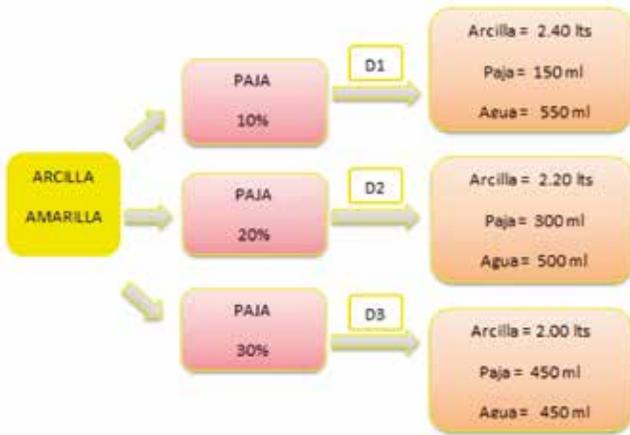


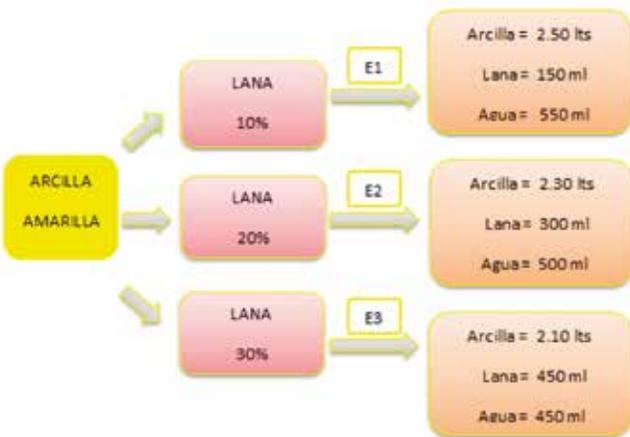
Figura 3. Revestimiento tipo "C"



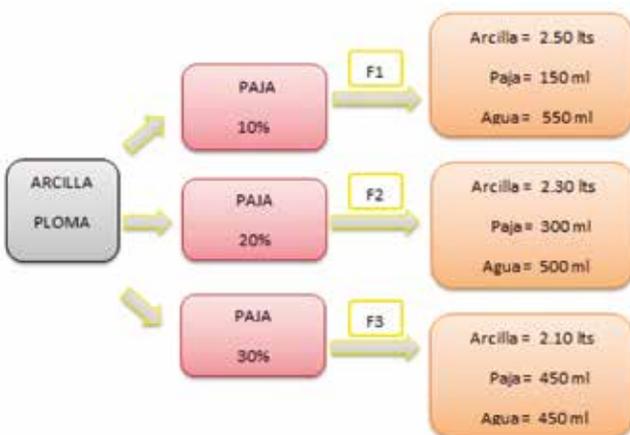
**Figura 4.** Revestimiento tipo "D"



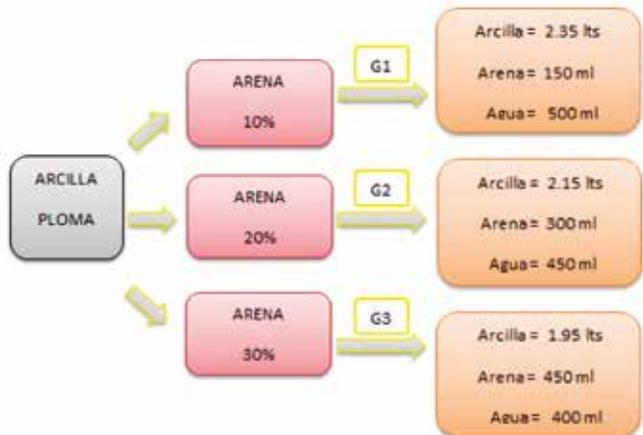
**Figura 5.** Revestimiento tipo "E"



**Figura 6.** Revestimiento tipo "F"

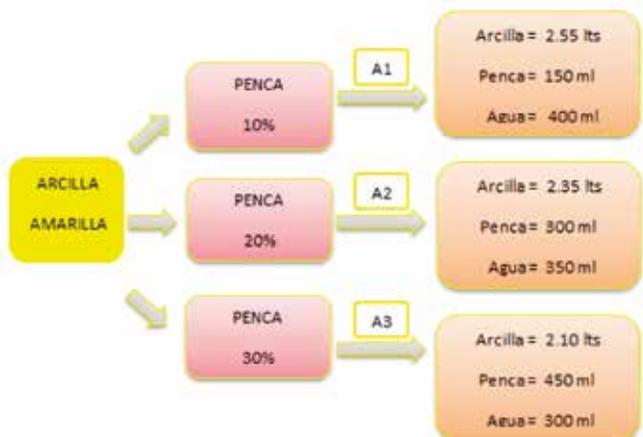


**Figura 7.** Revestimiento tipo "G"



**PERMEABILIDAD**

**Figura 8.** Revestimiento tipo "A"



**Figura 9.** Revestimiento tipo "B"

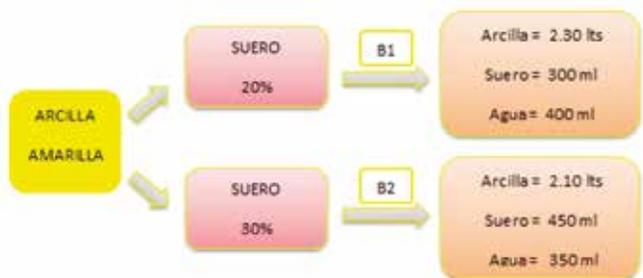


Figura 10. Revestimiento tipo "C"

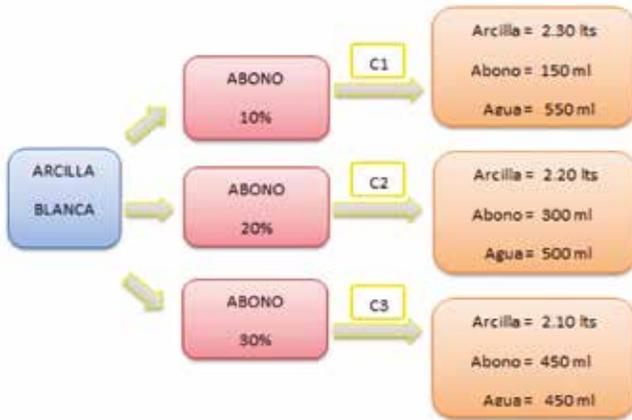


Figura 13. Revestimiento tipo "F"

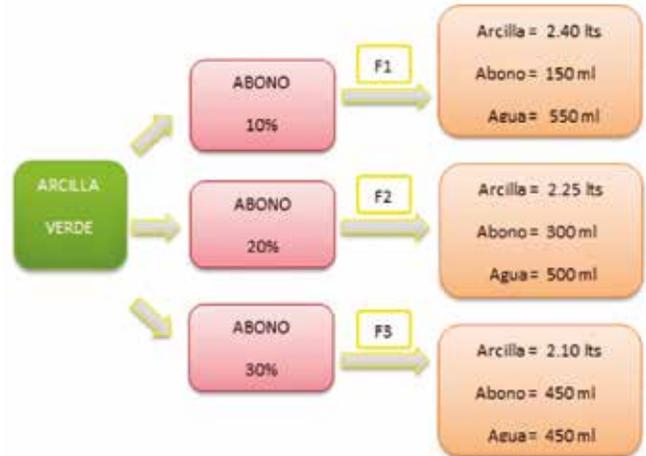


Figura 11. Revestimiento tipo "D"

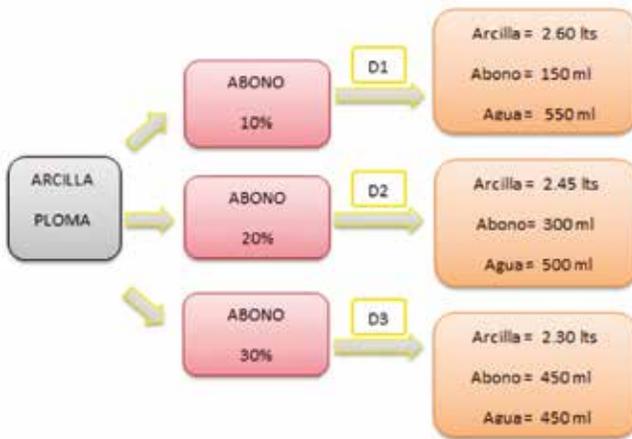


Figura 14. Revestimiento tipo "G"

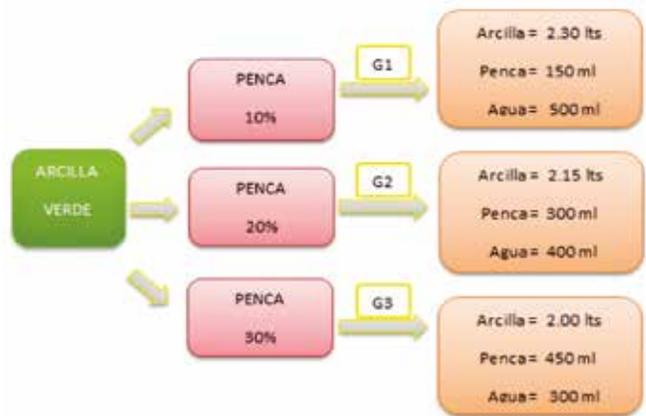
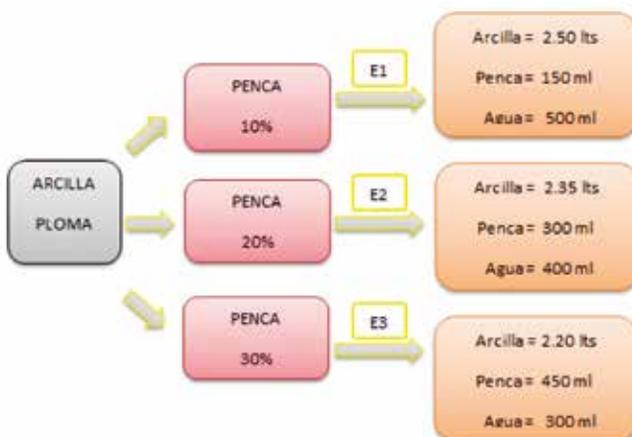


Figura 12. Revestimiento tipo "E"



ADHERENCIA

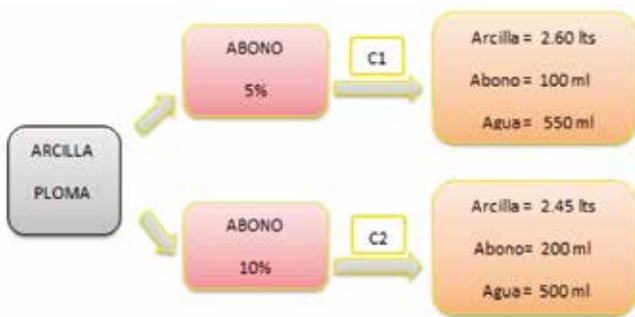
Figura 15. Revestimiento tipo "A"



**Figura 16.** Revestimiento tipo "B"



**Figura 17.** Revestimiento tipo "C"



**Figura 18.** Revestimiento tipo "D"



**PRUEBAS DE CAMPO:**

A través de pruebas de campo simples se verifica si la tierra conviene para la construcción, estas nos muestran las características de la tierra. Dentro de las pruebas de campo, se desarrollan las pruebas sensoriales (olfato, tacto, gusto, oído, vista).

**CONCLUSION GENERAL**

En una conclusión general podemos rescatar que las pruebas realizadas en campo indican que los lugares analizados presentan gran variedad en sus porcentajes de composición, sin embargo lo que prima en la mancomunidad es la erosión de los suelos y por ende su escasa cobertura vegetal en los mismos lo que los hace inertes y no productivos.

**PRUEBAS REALIZADAS:**

**RETRACCION**

Esta prueba muestra el porcentaje de cada componente del suelo, además nos mostrará el grado de retracción que tenga la muestra a estudiar. Para el desarrollo de esta prueba se realiza el siguiente procedimiento con los siguientes materiales:

1. Caja con dimensiones 40mm x 40mm x 600mm.

**Figura 19.** Caja de Madera.



Fuente elaboración Propia

Paso 1. El primer paso es engrasar las caras interiores de la caja para reducir al máximo la fricción durante la contracción. (Figura 20)

**Figura 20.**



Fuente elaboración Propia

Paso 2. Se prepara una muestra de suelo tamizada, añadiéndole agua hasta que la mezcla alcance la consistencia similar, por ejemplo, de un mortero de albañilería. (Figura 21)

**Figura 21.**



Fuente elaboración Propia

Paso 3. Esta mezcla se introduce en la caja comprimiéndola manualmente de forma tal que no queden vacíos y se nivela la parte superior con una regla o listón recto. (Figura 22)

**Figura 22.**



Fuente elaboración Propia

La caja se sitúa en un lugar donde este expuesta a los rayos solares durante 3 días o en la sombra por 10 días. En cualquiera de los dos casos debe estar protegida de las posibles lluvias. (Figura 23)

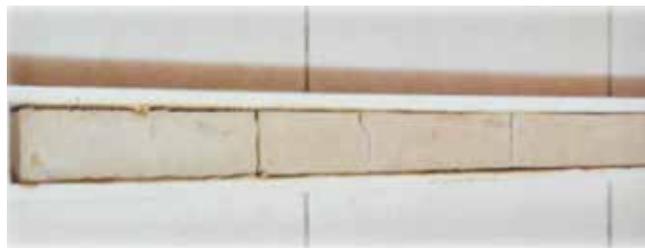
**Figura 23.**



Fuente elaboración Propia

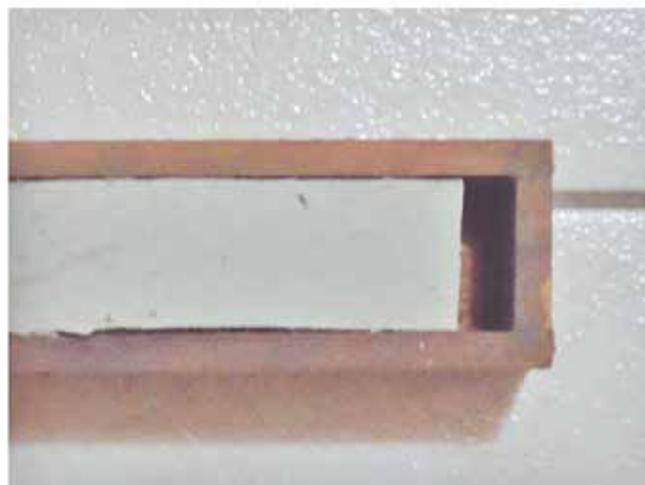
Si el suelo tiene un alto contenido de arcilla la muestra se contraerá en el molde sin fracturarse (solo se reduce en volumen). Si por el contrario, la muestra se fragmenta en pedazos más o menos iguales en la dirección longitudinal, significa que estamos en presencia de suelos muy arenosos sin prácticamente limos ni arcillas. (Figura 23 y 24 )

**Figura 24.**



Fuente elaboración Propia

**Figura 25.**



Fuente elaboración Propia

**Figura 26.** Índices de Retracción

Si se retrae hasta:  
 1.5 cm.: Arcillo Arenoso  
 2.5 cm.: Arcillo Limoso  
 4.0 cm.: Arcilloso

### PRUEBA DE PERMEABILIDAD

Esta prueba permite conocer la resistencia al intemperismo en pastillas fabricadas con tierra y sometidas al goteo para simular lluvia constante. (Figura 27 )

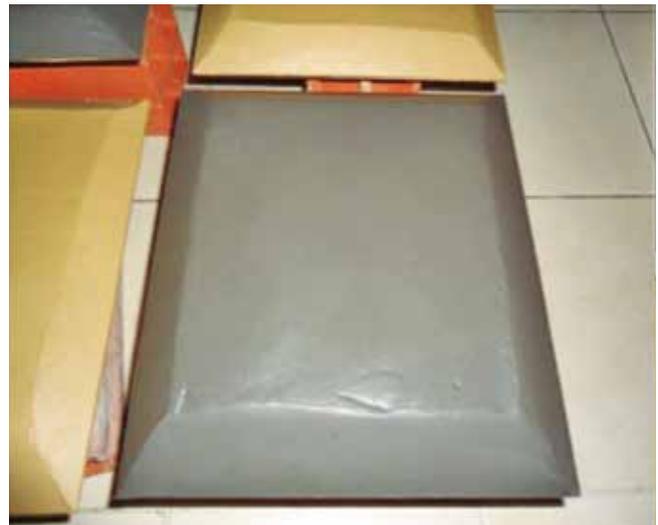
**Figura 27**



**Fuente** elaboración Propia

Se mezcla un poco de material de tierra (arcilla) con agua y el estabilizante seleccionado o solo con agua, después del amasado; se elabora una pastilla en una venesta de madera de 40x40x2 cm de altura y se deja secar durante 7 días a la sombra y 5 días al sol.

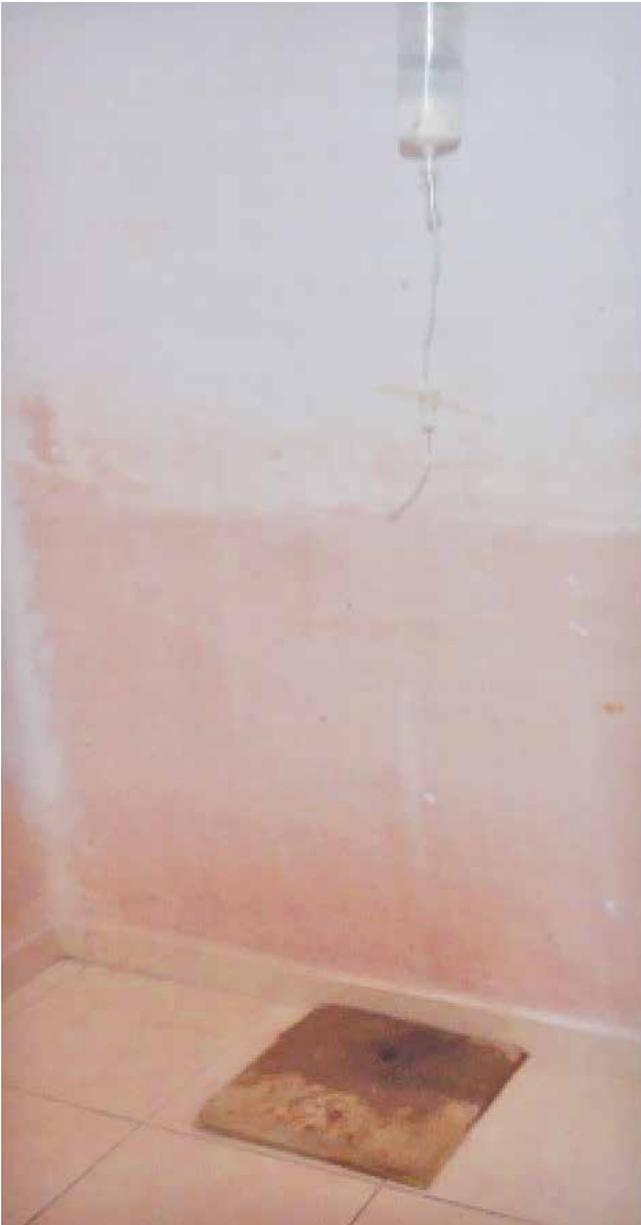
**Figura 28**



**Fuente** elaboración Propia

Luego de seca, se coloca la pastilla en el piso., y a una altura de 1 m y se deja caer 60 gotas por minuto de un recipiente de suero lleno de agua. (Figura 29)

**Figura 29**



Fuente elaboración Propia

Cuando la pastilla de Barro resiste el goteo por más de tres horas con una intensidad de 50 a 60 gotas por minuto sin perforarse, se considera que es el material adecuado y resistente al intemperismo. (Figura 30)

**Figura 30**



Fuente elaboración Propia

### **PRUEBA DE ADHERENCIA**

La adhesión es importante solo para morteros de barro. Esta depende de la aspereza de la superficie y de la resistencia a la flexión del mortero.

**Figura 31**



Fuente elaboración Propia

Esta Prueba se realiza con dos ladrillos cocidos que se unen con un mortero de 2 cm de espesor, el ladrillo superior se coloca oblicuo a 90° del inferior. Cuando el mortero está seco el ladrillo superior se coloca sobre dos ladrillos apoyado en sus extremos mientras que el inferior es cargado con un recipiente lleno de arena.

**Figura 32**

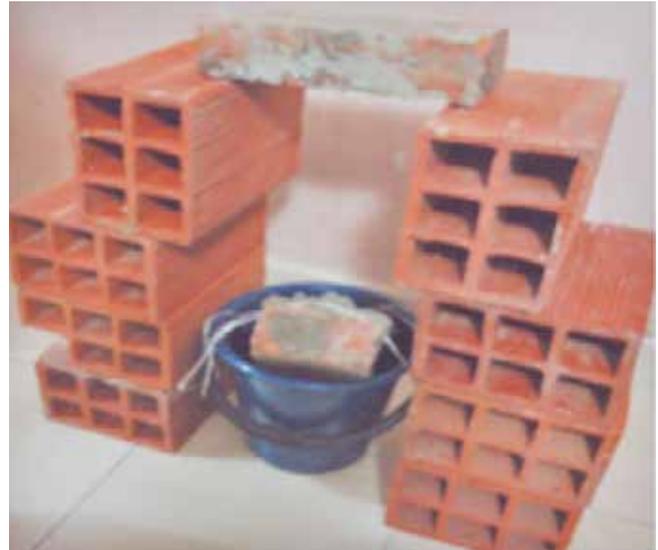


Fuente elaboración Propia

Cuando el mortero colapsa el peso del ladrillo inferior más el de la arena se divide por el área del mortero dando así la resistencia a la adhesión. Sin embargo esto es relevante solo si ocurre una falla en la unión del mortero y el ladrillo.

Si la falla ocurre dentro del mortero entonces significa que la resistencia a tracción del mortero es menor que la de la adhesión.

**Figura 33**



Fuente elaboración Propia

## RESULTADOS DE LAS PRUEBAS

### RETRACCION

Tabla 1.

TIPO DE ARCILLA	RETRACCION ESTADO PURO (mm)	ARENA 10%	PAJA 10%	LANA 10%	TEMP. (°C)	OBSERVACIONES
VERDE	61mm	14mm	9mm	10mm	13°C	Secado en 8 días
BLANCA	41mm	9mm	5.5mm	7mm	13°C	Secado en 5 días
PLOMA	43mm	11mm	8mm	9mm	13°C	Secado en 8 días
AMARILLA	38mm	8.5mm	7mm	8.5mm	13°C	Secado en 6 días

**CONCLUSIONES:**  
 Estabilizando con Paja al 10% se obtiene una Retracción promedio de 7,5mm., sin embargo La Paja por su costo, accesibilidad e utilización como alimento para animales u otros usos artesanales no es aconsejable. Por su costo y accesibilidad se aconseja estabilizar con Arena. ARENA (costo) = 120.75bs M3

Tabla 2.

TIPO DE ARCILLA	RETRACCION ESTADO PURO (mm)	ARENA 20%	PAJA 20%	LANA 20%	TEMP. (°C)	OBSERVACIONES
VERDE	61mm	7mm	5mm	6mm	13°C	Secado en 7 días
BLANCA	41mm	5mm	3mm	3.5mm	13°C	Secado en 5 días
PLOMA	43mm	6mm	5.5mm	5.5mm	13°C	Secado en 7 días
AMARILLA	38mm	5.5mm	3mm	4.5mm	13°C	Secado en 6 días

**CONCLUSIONES:**  
 Los mejores resultados de Estabilización al 20% se obtienen estabilizando con Paja, con una longitud de 4mm de Retracción, con Lana, 5mm. Aconsejables sobre todo para el área Rural, donde estos productos son abundantes y accesibles, y cuyo costo disminuye. COSTO PAJA: 35.00 BS fardo

Tabla 3.

TIPO DE ARCILLA	RETRACCION ESTADO PURO (mm)	ARENA 30%	PAJA 30%	LANA 30%	TEMP. (°C)	OBSERVACIONES
VERDE	61mm	3mm	2mm	2mm	13°C	Secado en 8 días
BLANCA	41mm	1mm	0mm	0.5mm	13°C	Secado en 5 días
PLOMA	43mm	2mm	1.5mm	1.5mm	13°C	Secado en 8 días
AMARILLA	38mm	2.5mm	1mm	1mm	13°C	Secado en 6 días

**CONCLUSIONES:**  
 Estabilizar con Arena al 30% tiene un resultado promedio de 2mm de Retracción por lo que es adecuado para interiores o en un 40% para revestimientos exteriores. Estabilizar con Paja al 30% en Exteriores es lo más adecuado, cuya Retracción promedio de 1mm. La Paja nos da excelente impermeabilidad y textura, con Arena tenemos un fino acabado en Interiores.

**PERMEABILIDAD****Tabla 4.**

TIPO DE ARCILLA	PENCA 20%	CUAJADA 20%	ABONO 20%	TEMP. (°C)	OBSERVACIONES:
VERDE	6.38	4.51	7.05	17°C	Goteo exacto de 60 gotas por minuto
BLANCA	4.51	3.19	5.19	17°C	Goteo exacto de 60 gotas por minuto
PLOMA	5.53	5.26	7.31	17°C	Goteo exacto de 60 gotas por minuto
AMARILLA	5.26	4.56	6.51	17°C	Goteo exacto de 60 gotas por minuto

**CONCLUSIONES:**  
Al 20%, el Abono es el mejor producto para impermeabilizar, con un tiempo promedio entre todas las tipos de arcillas estudiados de 6:30hrs. Sin embargo nos es muy usual su utilización en nuestro medio, como su accesibilidad, siendo más aconsejable el Abono para el área rural. La Penca es más aconsejable para nuestro medio, con un tiempo de Permeabilidad de 5:30hrs y es mayor su accesibilidad.

**Tabla 5.**

TIPO DE ARCILLA	PENCA 10%	CUAJADA 10%	ABONO 10%	TEMP. (°C)	OBSERVACIONES:
VERDE	5.07	3.57	5.55	17°C	Goteo exacto de 60 gotas por minuto
BLANCA	3.53	2.18	4.09	17°C	Goteo exacto de 60 gotas por minuto
PLOMA	4.29	3.26	4.32	17°C	Goteo exacto de 60 gotas por minuto
AMARILLA	4.16	4.09	3.57	17°C	Goteo exacto de 60 gotas por minuto

**CONCLUSIONES:**  
Al Estabilizar con un 10% de Abono las arcillas, tenemos una duración de impermeabilidad promedio de 5,00 hrs. hasta que el agua penetre completamente el Revoque, con Penca al 10% es de 4,30hrs.  
Según resultados son los mejores productos para impermeabilizar, sin embargo la Penca es más Accesible y cambia mínimamente el color de las Arcillas.

**Tabla 6.**

TIPO DE ARCILLA	PENCA 30%	CUAJADA 30%	ABONO 30%	TEMP. (°C)	OBSERVACIONES:
VERDE	7.59	5.51	9.36	17°C	Goteo exacto de 60 gotas por minuto
BLANCA	5.21	4.03	6.53	17°C	Goteo exacto de 60 gotas por minuto
PLOMA	6.54	6.06	8.09	17°C	Goteo exacto de 60 gotas por minuto
AMARILLA	6.37	5.26	7.58	17°C	Goteo exacto de 60 gotas por minuto

**CONCLUSIONES:**  
Los Resultados de Permeabilidad con Penca en un 30% son muy buenos, de 6:30hrs, con Relación al Abono cuyo acción de impermeabilidad es de 8:30hrs., existe mayor accesibilidad de la Penca que del Abono. Su Costo es Accesible, 0.50ctvs por unidad del cual se obtiene 350cc de Jugo de Penca., aconsejable para nuestro medio.

## ADHERENCIA (LADRILLO GAMBOTE)

Tabla 7.

TIPO DE ARCILLA	PURA	TEMP (°C)	OBSERVACIONES: Secado de 4 días (SOL)
VERDE	Resistencia a la Adhesión < tracción	18 °C	EL Mortero No quedo Adherida a ninguna cara
BLANCA	Resistencia a la Adhesión < tracción	18 °C	EL Mortero No quedo Adherida a ninguna cara del Ladrillo
PLOMA	Resistencia a la Adhesión < tracción	18 °C	EL Mortero No quedo Adherida a ninguna cara del Ladrillo
AMARILLA	Resistencia a la Adhesión < tracción	18 °C	El Mortero Si queda adherido a una de las Caras del Ladrillo

**CONCLUSIONES:**  
 Los Resultados de Adherencia con Arcillas sin Estabilizar, están dadas fundamentalmente por los porcentajes en su composición de cada una de ellas., Arcilla, Limo y Arena.  
 La arcilla VERDE por ejemplo: con una adherencia 0,03 kgrs/cm2 es más arcillosa por su comportamiento de adherencia, que la arcilla Blanca, que es más arenosa, con una resistencia de Adherencia de 0,02 kgrs/ cm2.

Tabla 8.

TIPO DE ARCILLA	ABONO 5%	TEMP (°C)	OBSERVACIONES: Secado de 4 días (SOL)
VERDE	Resistencia a la Adhesión < tracción	18 °C	EL Mortero No quedo Adherida a ninguna cara
BLANCA	Resistencia a la Adhesión < tracción	18 °C	EL Mortero No quedo Adherida a ninguna cara del Ladrillo
PLOMA	Resistencia a la Adhesión < tracción	18 °C	EL Mortero No quedo Adherida a ninguna cara del Ladrillo
AMARILLA	Resistencia a la Adhesión < tracción	18 °C	El Mortero Si queda adherido a una de las Caras del Ladrillo

**CONCLUSIONES:**  
 Los resultados de Adherencia, estabilizando las Arcillas al 5% con abono, incrementaron su adherencia., un 30% más que las arcillas sin estabilizar. Sin embargo estos resultados aún no son lo suficientemente óptimos como para adoptar esta dosificación para mejorar la adherencia de los Revoques de Barro.

Tabla 9.

TIPO DE ARCILLA	ABONO 10%	TEMP (°C)	OBSERVACIONES: Secado de 4 días (SOL)
VERDE	Resistencia a la Adhesión < tracción	18 °C	El Mortero Si queda adherido a una de las Caras del Ladrillo
BLANCA	Resistencia a la Adhesión < tracción	18 °C	EL Mortero No quedo Adherida a ninguna cara del Ladrillo
PLOMA	Resistencia a la Adhesión < tracción	18 °C	EL Mortero No quedo Adherida a ninguna cara del Ladrillo
AMARILLA	Resistencia a la Adhesión < tracción	18 °C	El Mortero Si queda adherido a una de las Caras del Ladrillo
<b>CONCLUSIONES:</b> Los resultados de Adherencia, estabilizando las Arcillas con un 10% de Abono, incrementan su adherencia., en un 50% más que las arcillas estabilizadas al 5%. Por lo tanto con esta dosificación es la adecuada para mejorar la Adherencia de nuestros Revoques de Barro, siendo además económicas por su bajo porcentaje de Abono. Por M2 esta dosificación nos da una Adherencia de: 0.5 kgrs x M2.			

### ADHERENCIA (LADRILLO CERAMICO)

Tabla 10.

TIPO DE ARCILLA	ABONO 10%	TEMP (°C)	OBSERVACIONES: Secado de 4 días (SOL)
VERDE	Resistencia a la Adhesión < tracción	18 °C	El Mortero Si queda adherido a una de las Caras del Ladrillo
BLANCA	Resistencia a la Adhesión < tracción	18 °C	EL Mortero No quedo Adherida a ninguna cara del Ladrillo
PLOMA	Resistencia a la Adhesión < tracción	18 °C	EL Mortero No quedo Adherida a ninguna cara del Ladrillo
AMARILLA	Resistencia a la Adhesión < tracción	18 °C	El Mortero Si queda adherido a una de las Caras del Ladrillo
<b>CONCLUSIONES:</b> Mediante esta prueba realizada en un soporte cerámico, con una dosificación del 10% de abono podemos comprobar, que las arcillas tienen un comportamiento similar que en ladrillo gambote., la mayor permanencia del revoque fue mínima, entre 7 a 9 segundos más. La Estabilización con ABONO para estos tipos de ARCILLA tienen que ser mayor a un 10%.			

Tabla 11.

TIPO DE ARCILLA	ABONO 5%	TEMP (°C)	OBSERVACIONES: Secado de 4 días (SOL)
VERDE	Resistencia a la Adhesión < tracción	18 °C	EL Mortero No quedo Adherida a ninguna cara
BLANCA	Resistencia a la Adhesión < tracción	18 °C	EL Mortero No quedo Adherida a ninguna cara del Ladrillo
PLOMA	Resistencia a la Adhesión < tracción	18 °C	EL Mortero No quedo Adherida a ninguna cara del Ladrillo
AMARILLA	Resistencia a la Adhesión < tracción	18 °C	El Mortero Si queda adherido a una de las Caras del Ladrillo

**CONCLUSIONES:**  
Mediante la Estabilización con un 5% de ABONO en este tipo de ARCILLAS, en un soporte cerámico, podemos concluir... que este porcentaje no satisface a la Mezcla para conseguir una completa Adhesión del Mortero al Soporte., hubo más tiempo de resistencia al colapso del mortero pero fue de unos 2 a 4 segundos más que en el soporte de ladrillo gambote.

Tabla 12.

TIPO DE ARCILLA	PURA	TEMP (°C)	OBSERVACIONES: Secado de 4 días (SOL)
VERDE	Resistencia a la Adhesión < tracción	18 °C	EL Mortero No quedo Adherida a ninguna cara
BLANCA	Resistencia a la Adhesión < tracción	18 °C	EL Mortero No quedo Adherida a ninguna cara del Ladrillo
PLOMA	Resistencia a la Adhesión < tracción	18 °C	EL Mortero No quedo Adherida a ninguna cara del Ladrillo
AMARILLA	Resistencia a la Adhesión < tracción	18 °C	El Mortero Si queda adherido a una de las Caras del Ladrillo

**CONCLUSIONES:**  
Las arcillas estudiadas sin estabilizarlas no tuvieron un buen resultado en las pruebas de adherencia, este tipo de suelos analizados colapsaron casi al instante de colocar el primer peso de 500grs. Lo que nos da la conclusión de que la estabilización para mejorar los mortero de arcilla son indiscutibles y necesarios.

## BIBLIOGRAFÍA

- Candiotti Irala, Morales R, Torres Cabrejos R, Rengifo L. (1993). "Manual para la Construcción de Viviendas de Adobe" Impreso en TALLERES Gráficos de Víctor Castillo .Lima-Perú 1993
- Gernot Minke (2001).Manual de Construcción

con Tierra.La tierra como material de construcción y su aplicación en la arquitectura actual. Editorial Eco Habitar. España

- Rainier M, MD.(1975) Making building blocks with the CINVA- Ram Block Press. Edición Statement:rev. ed. Publicada; VITA. Estados Unidos.1976

## ELABORACIÓN DE TOMATE DESHIDRATADO

### PREPARATION OF DEHYDRATED TOMATO

Ortiz Jurado Cynthia Daiana <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Investigadora 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:** Cynthia.daiana78@gmail.com

#### RESUMEN

En el presente trabajo se realizó la deshidratación de tomate “perita” por medio de aire caliente forzado en una cámara de secado de bandejas, siendo seleccionada esta variedad ya que es la más apta para el proceso de deshidratación debido a sus características fisicoquímicas y por constituir el 70% de la producción de tomate en el departamento de Tarija.

Con el fin de determinar las condiciones adecuadas para la deshidratación de tomate y lograr un producto de calidad, se procedió a usar diferentes temperaturas de deshidratación y diferentes concentraciones de metabisulfito de sodio en la etapa de sulfitación.

Las variables manipulables fueron: rango de temperatura (40 y 60 °C) y la concentración de metabisulfito de sodio en la solución (5, 1 y 0,1%); las variables fijas fueron: una velocidad de aire de 1,5 m/s y una densidad de carga de 0,1292 kg/m<sup>2</sup> y las variables de respuesta: Humedad final del producto y tiempo de secado.

En esta experiencia se determinó que el proceso, con el cual se logró un producto de calidad es trabajando a una temperatura de 60 °C y una solución de 0,1% de metabisulfito de sodio para la sulfitación. Además de eso se concluyó que es necesario un envasado al vacío para que el tomate se conserve.

#### **PALABRAS CLAVE:**

Secado, tomate deshidratado, humedad.

#### **ABSTRACT**

In this research the dehydration of tomato “perita” was realized through forced hot air in drying chamber trays. This variety of tomato was selected because it is the most suitable for the dehydration process due to their physicochemical

characteristics and because it constitutes the 70% tomato production in the Tarija’s department.

In order to determine the appropriate conditions for the dehydration of tomato and achieve a quality product, we will proceed to use different dehydration temperatures and different concentrations of sodium metabisulfite at the stage of sulfation.

The manipulated variables were: temperature range (between 40 and 60 °C) and the concentration of sodium metabisulfite solution (5, 1 and 0.1%); fixed variables were: the air velocity of 1.5 m / s and the load density, which was of 0.1292 kg/m<sup>2</sup>, and the response variables: final moisture and drying time.

In the experience, with this product, it was determined that the process, achieves its best quality when was working to 60°C of temperature, and a solution of 0.1% sodium metabisulfite to sulfation. In addition to this experience we found that a vacuum packaging is required for a good conservation and preservation of the tomato.

#### **KEY WORDS**

Drying, dried tomato, moisture.

#### **INTRODUCCIÓN**

En la actualidad la importancia de los cultivos de tomate aumenta continuamente, abarcando nuevas extensiones de terreno e industrializando cada vez más la producción no solo para el consumo fresco y la obtención del jugo, sino para suministrar de materia prima a la gran cantidad de fábricas de conserva que cada día se implantan (Hernán Saez P. y Pastor J., 2009).

El cultivo de tomate corresponde a una de las especies hortícolas más difundidas a nivel mundial. La superficie total, de acuerdo a la FAO (La Organización de las Naciones Unidas para la

Alimentación y la Agricultura), alcanza a unas 3,6 millones de hectáreas.

En Bolivia, el cultivo de tomate es de gran importancia, su producción agrícola en el año 2012 fue de 51.748 toneladas métricas (INE, 2012), mientras que en Tarija la producción de tomate en el año 2013 superó las 7 toneladas, según la Cámara Agropecuaria de Tarija (CAT).

La diversidad de usos y sus atributos sensoriales y protectores de la salud humana han posicionado al tomate como uno de los frutos más importantes en la dieta humana. Sin embargo, su corta vida postcosecha en estado fresco ha limitado su distribución. La deshidratación de este fruto ha permitido extender su vida de anaquel, fortaleciendo su demanda.

La deshidratación consiste en eliminar el agua que contienen los alimentos, el objetivo de reducir el contenido de humedad en los alimentos, es disminuir la actividad enzimática y la capacidad de desarrollar microorganismos que afectan la preservación del alimento.

Los factores que intervienen en el proceso de deshidratado del tomate: temperatura del aire, humedad relativa del aire, velocidad del aire, el agua en los alimentos, pretratamientos, espesor del material a secar, humedad final exigida (Gómez M., 2009).

El deshidratado con aire caliente en cámaras de secado es el método más común para secar productos alimenticios. En este método el aire caliente remueve el agua en estado libre de la superficie de los productos (Biotecnia, 2012).

Por la disponibilidad de equipo y sus buenos rendimientos el deshidratado de tomate de la presente investigación se llevara a cabo en un secador de bandejas del Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID).

## MATERIALES Y MÉTODOS

La materia prima utilizada en la presente investigación es el tomate, cuya producción es ampliamente difundida en el departamento de Tarija, por su demanda e importancia comercial, la variedad seleccionada para la deshidratación fue el tomate "perita" ya que conforma el 70% de la producción de tomate en Tarija.

La metodología seguida para el proceso de secado fue:

**Selección de la materia prima:** La selección de la materia prima se realizó manualmente considerando que el tomate alcanza un color rojo en el 90% de su superficie total, lo que indica un grado de madurez óptimo, el cual además deberá tener un valor mayor a 4 °Brix para corroborar la madurez del mismo, físicamente el tomate no debe presentar indicios de golpes o cortaduras.

A continuación se muestra el análisis fisicoquímico realizado al tomate para su caracterización:

**Tabla 1.** Análisis fisicoquímico de tomate "perita" fresco

Componente	Composición (%)
Humedad	94,77
Proteína total	0,56
Materia grasa	0,20
Fibra	0,76
Cenizas	0,36
Hidratos de carbono	4,47

Fuente: CEANID, 2014.

**Lavado:** El lavado del tomate "perita" seleccionado para la deshidratación se lavó, mediante inmersión, con abundante agua potable para la eliminación de cualquier impureza que este presentara.

**Ecurrido del agua:** Tras el lavado se escurre el agua de la materia prima por unos dos minutos.

**Rebanado:** El rebanado del tomate se realizó de manera manual procurando que cada rebanada de tomate tenga un espesor de más o menos 0,5 cm. El corte de las rodajas se realizó de manera axial con la finalidad de favorecer la eliminación de semillas del mismo.

**Eliminación de semillas:** Se eliminan las semillas de forma manual para proporcionar un mejor aspecto al producto final.

**Sulfitación:** El tomate ya rebanado y sin semillas se sumerge en soluciones de agua y metabisulfito de sodio, variando las concentraciones del mismo y el tiempo de inmersión, con la finalidad de evitar el pardeamiento y eliminar posible contaminación del tomate en las anteriores etapas del proceso.

**Tabla 2.** Sulfitado de la materia prima

Concentración de la solución de metabisulfito de sodio (%)	Tiempo de inmersión (min)	Consumo de metabisulfito de sodio (g/kg de tomate fresco)
5	5	0,2166
1	10	0,2832
0,1	15	0,06

Fuente: CEANID, 2014.

Las concentraciones y el tiempo de inmersión, para el proceso de elaboración de tomate deshidratado, se indican a continuación:

**Escurrido:** Después de la inmersión en Metabisulfito de sodio la materia prima se escurre para eliminar rastros de la solución presente en la materia prima, para lo cual es necesario el uso de un colador

**Deshidratación del tomate mediante aire caliente forzado en una cámara de secado de bandejas:**

El proceso de deshidratación de la materia prima se efectúa en una estufa Binder FD la cual posee un sistema de convección forzada para la eliminación de la humedad dentro de la cámara.

Para el proceso de deshidratación de la presente investigación se tomará en cuenta tres temperaturas de secado las cuales son: 40, 50, 60°C.

La velocidad del aire caliente dentro de la cámara de secado tendrá un valor de 1,5 m/s (medido con un anemómetro digital).

**Enfriado:** El enfriado del tomate deshidratado se realizó en un desecador, a temperatura ambiente, usando como desecante sílica gel por un tiempo de 15 h. con la finalidad de que el producto obtenido no absorba humedad del ambiente antes de su envasado.

**Envasado:** El envasado se realizó a vacío (laboratorio de alimentos dentro de la universidad), en bolsas de polietileno de 80 micrómetros de espesor.

**Almacenado:** El almacenado de las muestras ya envasadas se realizó en un lugar fresco y seco.

## RESULTADOS

Para analizar la cinética y el tiempo de secado es necesario realizar los cálculos de variación de humedad con el tiempo y la variación del contenido de humedad en base seca para los 9 ensayos correspondientes a la presente investigación:

**a) Variación de humedad con el tiempo:** se calcula para cada intervalo de tiempo

Los ensayos realizados en la investigación se resumen en la siguiente tabla:

**Tabla 3.** Ensayos realizados en la elaboración de tomate deshidratado

Ensayo	Concentración (%) de metabisulfito de sodio en la solución)	Temperatura (° C)
1	5	40
2	1	40
3	0,1	40
4	5	50
5	1	50
6	0,1	50
7	5	60
8	1	60
9	0,1	60

Fuente: Elaboración propia, 2015.

**Tabla 4.** Variación de la humedad con el tiempo para los 9 ensayos

	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 5	Ensayo 6	Ensayo 7	Ensayo 8	Ensayo 9
Tiempo (min)	%H	%H	%H	%H	% H	% H	% H	% H	% H
0	93,7275	95,3503	95,5493	94,8934	93,851	94,3201	93,3981	93,9215	94,4917
20	86,5804	88,5056	89,1676	87,4703	84,7202	84,1875	76,1104	80,8431	80,2119
40	79,6409	80,7906	82,7967	79,3026	75,7334	73,7435	59,6843	67,4264	66,0931
60	73,0092	73,6538	76,6377	71,2324	66,982	63,8298	43,9312	54,8857	52,0411
80	67,191	66,3809	71,0782	63,6094	58,4841	54,5418	29,8537	42,8956	39,6519
100	61,4185	59,349	65,5977	55,698	50,1479	45,6526	18,5433	31,952	28,2564
120	55,5711	52,3887	60,053	47,8146	42,2432	37,3863	10,259	22,025	18,3276
140	49,6624	45,7604	54,5073	40,183	34,7332	29,8979	4,6757	13,8223	10,8148
160	43,8581	39,3194	49,0712	32,6017	27,7365	23,2653	1,6763	7,2081	5,6346
180	38,0864	33,0292	43,5584	25,3342	21,1584	17,4707	0,5383	2,6055	2,4496
200	32,5967	27,0704	38,1515	18,7331	14,8754	12,1097	0,201	0,7058	0,7846
220	27,3125	21,3388	32,8685	12,6444	9,6198	7,6996	0,0903	0,1226	0,2119
240	24,693	16,1599	27,8095	7,6805	5,4425	4,2724	0,0512	0,0697	0,0643
260	18,3843	11,75	23,0245	4,0363	2,5979	1,994	0,0212	0,027	0,023
280	14,2221	8,0982	18,5534	1,7153	1,0644	0,8135	0	0	0
300	10,8343	5,2936	14,5594	0,4919	0,3902	0,32			
320	7,7293	3,0574	10,8497	0,1519	0,1771	0,1203			
340	5,1167	1,5267	7,6587	0,0694	0,0942	0,0385			
360	3,2098	0,5968	5,0468	0,026	0,0484	0			
380	1,7152	0,2088	2,9242	0	0				
400	0,8046	0,1108	1,2874						
420	0,3167	0,0047	0,3589						
440	0,1239	0	0,0088						
460	0,0293		0						
480	0								

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Los tiempos de inmersión, así como la concentración de metabisulfito de sodio, no afectan la humedad inicial de la materia prima. La temperatura de operación afecta significativamente la variación de la humedad con el tiempo, la eliminación de humedad del tomate es más rápida cuando la temperatura es mayor.

**b) Contenido de humedad en base seca:** En los cálculos de secado es conveniente utilizar la humedad a base seca, debido a que la base de cálculo permanece constante a lo largo del fenómeno de secado.

**Tabla 5.** Contenido de humedad en base seca para los distintos ensayos

	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 5	Ensayo 6	Ensayo 7	Ensayo 8	Ensayo 9
Tiempo (min)	X	X	X	X	X	X	X	X	X
0	15,0222	20,6250	21,4375	18,5405	15,3171	16,4419	14,1087	15,3478	17,1400
20	13,8667	19,3125	20,0313	17,0811	13,8537	14,6512	11,5000	13,2174	14,5400
40	12,7556	17,6250	18,5938	15,4865	12,3659	12,8605	9,0000	11,0217	11,9800
60	11,7111	16,0625	17,2188	13,9189	10,9268	11,1163	6,6304	8,9565	9,4400
80	10,7778	14,5000	15,9688	12,4324	9,5366	9,5116	4,5000	7,0000	7,2000
100	9,8444	12,9688	14,7188	10,8649	8,1951	7,9535	2,8043	5,2174	5,1200
120	8,9111	11,4375	13,4688	9,3514	6,9024	6,5116	1,5435	3,5870	3,3200
140	7,9556	9,9688	12,2187	7,8378	5,6829	5,2093	0,6956	2,2609	1,9600
160	7,0222	8,5625	11,0000	6,3784	4,5366	4,0465	0,2609	1,1739	1,0200
180	6,1111	7,2188	9,7813	4,9459	3,4634	3,0233	0,0870	0,4130	0,4400
200	5,2222	5,9063	8,5625	3,6486	2,4390	2,0930	0,0217	0,1087	0,1400
220	4,3778	4,6563	7,3750	2,4595	1,5854	1,3256	0,0000	0,0217	0,0400
240	3,9556	3,5313	6,2500	1,4865	0,9024	0,7442		0,0000	0,0000
260	2,9556	2,5625	5,1563	0,7838	0,4390	0,3488			
280	2,2889	1,7813	4,1563	0,3243	0,1707	0,1395			
300	1,7333	1,1563	3,2813	0,0811	0,0732	0,0465			
320	1,2444	0,6875	2,4375	0,0270	0,0244	0,0000			
340	0,8222	0,3438	1,7188	0,0000	0,0244				
360	0,5111	0,1563	1,1250		0,0000				
380	0,2889	0,0625	0,6563						
400	0,1333	0,0313	0,2813						
420	0,0667	0,0000	0,0625						
440	0,0222		0,0000						
460	0,0000								

Fuente: Elaboración propia, 2015.

### Calculo de la cinética de secado

Habiéndose calculado la cinética de secado para cada uno de los ensayos realizados, la misma nos muestra que el ensayo N° 9, es el que presenta una mayor velocidad de secado en un tiempo menor, por cuanto la temperatura aplicada es también mayor y corresponde a 60° C. Es importante también remarcar coincidentemente los resultados del análisis organoléptico y sensorial que se muestran más adelante, dando a este ensayo los mejores valores.

Por ello para el cálculo de la cinética de secado se mostrarán los datos del ensayo N° 9, ya que evaluando las condiciones económicas y de

calidad (análisis sensorial) se ha optado este proceso como el de mejor aceptación.

Se define la velocidad de secado como la pérdida de humedad del sólido húmedo en una unidad de tiempo, y más exactamente por el cociente diferencial ( $-dX/dt$ ) operando en condiciones constantes de secado (temperaturas, presión, humedad y velocidad) permanecen constantes con el tiempo (Ocon J. y Tojo G., 1980).

Para el cálculo de la cinética de secado se hizo uso el método de los tres puntos, este en un método analítico empleado para encontrar la pendiente en los puntos de una curva, el cual basa su análisis en la agrupación de tres puntos equidistantes para

determinar la pendiente en cada uno de ellos y así sucesivamente encontrar las pendientes en los distintos puntos equidistantes que se encuentran sobre una curva.

Antes de realizar los cálculos por el método de los tres puntos se debe aclarar que el ensayo N° 9 no se realizó en el tiempo indicado, ya que no

es económicamente factible secar el tomate después del minuto 180, puesto que a partir de este tiempo y en una hora adicional solo se elimina el 2% de humedad de la muestra; por ello, se recomienda que el proceso de secado finalice en el minuto 180 (3 h), cuando la muestra tiene una humedad en base seca de 0,44 kg de agua/kg de ss.

**Tabla 6.** Método de los 3 puntos

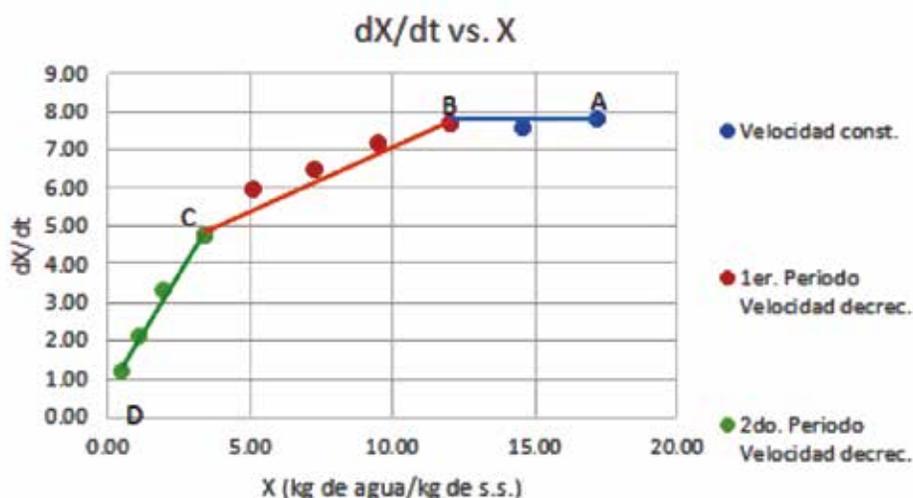
Tiempo (min)	X	$Y' = dX/dt$	$y'_{media} = -dX/dt$	$\ln X$	$\ln (y'_{media})$
0	17,1 4	-7,861	7,861	2,841	2,062
20	14,5 4	-7,636	7,636	2,677	2,033
40	11,9 8	-7,781	7,781	2,483	2,052
60	9,44	-7,241	7,241	2,245	1,98
80	7,2	-6,571	6,571	1,974	1,883
100	5,12	-6,031	6,031	1,633	1,797
120	3,32	-4,845	4,845	1,2	1,578
140	1,96	-3,41	3,41	0,673	1,227
160	1,02	-2,175	2,175	0,02	0,777
180	0,44	-1,24	1,24	-0,821	0,215

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Con los datos ya mencionados en la tabla se procedió a graficar la curva de secado con la

iteración de datos,  $dX/dt$  vs. X, para identificar las distintas zonas dentro de la curva de secado.

**Figura 1.** Curva de secado con los datos ajustados al modelo  $dX/dt$  vs. X



Fuente: Elaboración propia, 2015.

En la figura se identifica las tres zonas de la cinética de secado, la recta A-B corresponde a la velocidad de secado constante, la recta B-C corresponde a primer periodo de velocidad de secado decreciente y la línea que conecta los puntos C-D corresponde al segundo periodo de velocidad decreciente.

Con la identificación de las zonas correspondientes se procede a calcular la cinética de secado para cada zona en específico, sabiendo que el punto crítico (B), separa a las zonas anticríticas y postcríticas respectivamente.

**Periodo anticrítico o de velocidad constante**

Ya que el primer periodo corresponde a una velocidad constante se considera un valor ponderado entre los 3 puntos que corresponden al mismo

**Primer periodo postcrítico o de velocidad decreciente**

Se evalúan los puntos correspondientes a la recta B-C mediante el método de los tres puntos se calcula la pendiente en cada uno de los puntos observados:

**Segundo periodo postcrítico o de velocidad decreciente**

Se evalúan los puntos correspondientes a la recta C-D.

Reemplazando los valores de X de la tabla de método de los tres puntos correspondientes a la primera zona postcrítica y segunda zona postcrítica, se calcula la velocidad de secado. Además se multiplicó a estos resultados los valores de masa de Sólido Seco/Área (SS/A) correspondiente al ensayo N° 9 para tener un valor de la cinética:

**Tabla 7.** Velocidad de secado para los tres periodos

Tiempo (min)	X (kg de agua/kg de s.s.)	y	SS/A (kg/m <sup>2</sup> )	W (kg/h*m <sup>2</sup> )
0	17,14	7,8	0,1292	1,007
20	14,54	7,8		1,007
40	11,98	7,8		1,007
60	9,44	7,16		0,925
80	7,2	6,50		0,839
100	5,12	5,75		0,743
120	3,32	4,93		0,637
140	1,96	4,08		0,527
160	1,02	3,23		0,417
180	0,44	2,40		0,31

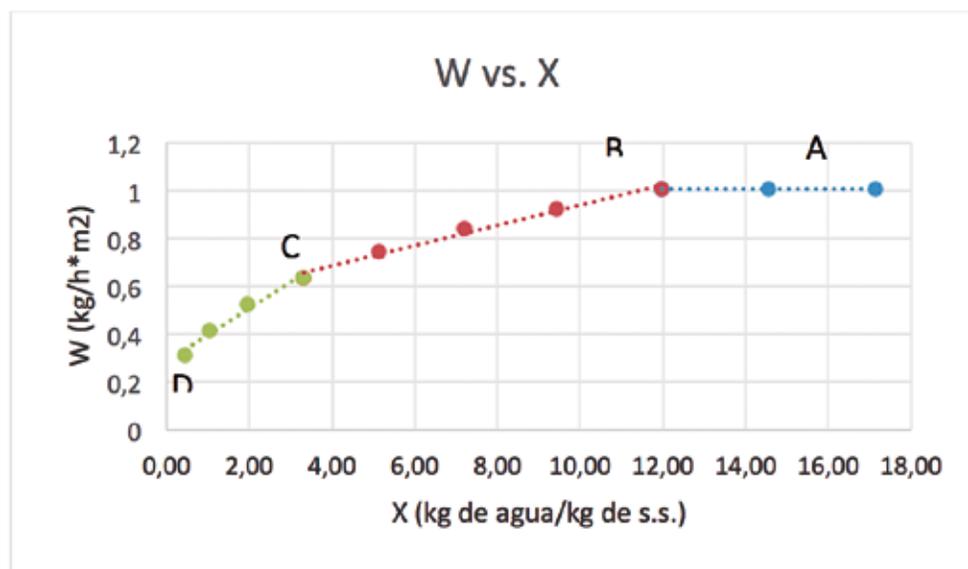
Fuente: Elaboración propia, 2015.

En la tabla se puede observar que en el periodo constante la velocidad de secado es mayor que en el resto de la curva y la velocidad permanece constante, a partir del punto crítico (B) la velocidad desciende de manera lineal hasta el punto C.

A partir de ese punto la velocidad desciende aún más, ya que el agua presente en la materia prima

es más difícil de eliminar, hasta llegar a su valor más bajo en el minuto 180 (3 h) en donde el proceso de secado finaliza.

En la siguiente figura se muestra la variación de la velocidad en función del contenido de humedad en base seca

**Figura 2.** Curva de velocidad de secado

Fuente: Elaboración propia, 2015.

## Cálculo del tiempo de secado

### 1.- Tiempo anticrítico

Corresponde desde el punto A hasta el punto B

$$\theta_a = +39,6 \text{ min} \approx 40 \text{ min}$$

### 2.- Tiempo primer periodo postcrítico

El primer periodo postcrítico corresponde desde el punto B hasta el punto C.

$$\theta_{p1} = 80 \text{ min}$$

### 3.- Tiempo segundo periodo postcrítico

El segundo periodo postcrítico corresponde desde el punto C hasta el punto D.

$$\theta_{p2} = 60 \text{ min}$$

### Tiempo total de secado

$$\theta_{\text{total}} = \theta_a + \theta_{p1} + \theta_{p2}$$

$$\theta_{\text{total}} = (40 + 80 + 60) \text{ min}$$

$$\theta_{\text{total}} = 180$$

El tiempo de secado para el proceso de deshidratación de tomate es de 180 min = 3 h. Se debe aclarar que el proceso termina en el minuto 180 ya que la masa de agua eliminada posterior a este punto es muy baja, y no es económicamente

factible teniendo en cuenta el gasto energético que se requiere, además al ser un producto altamente higroscópico, el tomate adquiere humedad del ambiente muy fácilmente por lo cual no es conveniente llevar la deshidratación hasta un valor humedad en base seca igual 0, en el cual la humedad del tomate tiende a 0.

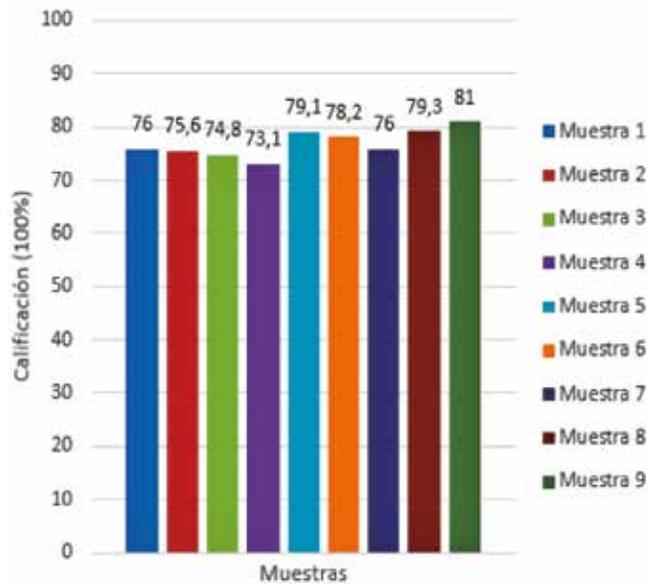
### Evaluación sensorial (caracteres organolépticos)

Las características organolépticas son parámetros, la mayoría de ellos sensoriales, que permiten juzgar o calificar la calidad del producto, consecuencia del empleo de materias primas adecuadas, técnicas de elaboración correctas y cuidados durante su conservación.

La evaluación sensorial del tomate deshidratado fue realizada por 10 jueces conocedores del tema, evaluando los principales caracteres organolépticos como ser: aspecto, color, aroma, sabor y consistencia, dándole un puntaje de 20% sobre 100 a cada uno.

En la figura se muestran los promedios de la impresión sensorial general que tuvo cada uno de los jueces para cada muestra de tomate deshidratado, esta impresión sensorial general es la suma de los puntajes obtenidos en las diferentes características evaluadas en la evaluación organoléptica que son: aspecto, color, aroma, sabor y consistencia.

**Figura 3.** Impresión sensorial general (100%)



Fuente: Elaboración propia, 2015.

De acuerdo a los datos mostrados anteriormente se concluye que la muestra con mejor aceptación es la muestra 9, la cual tiene las características de secado de 60°C y una solución de metabisulfito de sodio al 0,1%, con un puntaje de 81 sobre el 100%.

La muestra de menor aceptación fue la muestra 4, cuyas características fueron una temperatura de secado de 50° C y una solución de metabisulfito de sodio al 5%, con un puntaje de 73,1 sobre el 100%.

### Resultados

Además de los parámetros de calidad mencionados en los análisis sensoriales, tales como aspecto, aroma, color, etc., se debe considerar otros requerimientos (pardeamiento, embalaje del producto, análisis fisicoquímicos y microbiológicos, anhídrido sulfuroso en el producto y rehidratación) para garantizar un producto de calidad.

**Figura 4.** Tomate deshidratado



Fuente: Elaboración propia, 2015.

### Análisis fisicoquímico del producto

El análisis fisicoquímico del producto se efectuó en el CEANID y los resultados se resumen en la siguiente tabla:

**Tabla 8.** Análisis fisicoquímico del tomate deshidratado

Componente	Composición (%)
Humedad	6,98
Proteína total	12,52
Materia grasa	0,43
Fibra	15,18
Cenizas	9,45
Hidratos de carbono	55,44

Fuente: CEANID, 2015.

Los análisis mencionados anteriormente se realizaron a la muestra después de 1 mes de envasada, la variación de la humedad mencionada en la tabla "variación de humedad con el tiempo" y la proporcionada por el CEANID se debe a una deficiencia en el envasado, ya que la bolsa de polietileno es muy delgada y se produce fisuras en la misma en el proceso de envasado al vacío, lo cual provoca que el producto, siendo higroscópico, absorba humedad del ambiente.

### Análisis microbiológico del producto

El análisis microbiológico del producto se efectuó en el CEANID y los resultados se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 9.

Parámetro	Valor (U.F.C/ml)
Coliformes totales	< 10
Coliformes fecales	< 10
Mohos y levaduras	$3,0 \times 10^1$

Fuente: CEANID, 2015.

### Control de calidad del producto

El código alimentario argentino en su Manual de Desecados (2006) establece valores máximos de impurezas en los productos deshidratados, tal es el caso del anhídrido sulfuroso permitido en un producto deshidratado terminado en el cual se ha procedido a la inactivación enzimática mediante inmersión de la materia prima en una solución de metabisulfito de sodio.

La determinación del anhídrido sulfuroso del tomate deshidratado fue en el CEANID, se muestra el resultado:

Tabla 10. Anhídrido sulfuroso en el tomate seco

Muestra	Masa de muestra (g)	Anhídrido sulfuroso presente en la muestra (g de SO <sub>2</sub> /kg de materia seca)
Tomate seco	20,15	0,32

Fuente: CEANID, 2015.

De acuerdo a lo establecido por el código alimentario argentino, el tomate deshidratado cumple con las especificaciones de anhídrido sulfuroso total en un producto deshidratado el cual es de 1g por kilogramo de producto deshidratado.

Otro factor importante dentro del control de calidad de los productos secos, establecido por el código alimentario argentino, es la rehidratación

de los productos secos ya que esta información está directamente dirigida al consumidor para establecer el rendimiento del producto.

Tabla 11.

Muestra	Masa de muestra	% de Rehidratación
Tomate deshidratado	15,002 g	332,85

Fuente: Elaboración propia, 2015.

## DISCUSIÓN

La selección de la materia prima se realizó en base a la producción de las principales variedades de tomate producidas en Tarija. Según información de la Cámara Agropecuaria de Tarija (CAT) la variedad más producida en Tarija es la "perita" constituyendo alrededor del 70 % de la producción total de tomate.

El diseño del secado para la deshidratación de tomate fresco se realizó en base a dos variables manipulables: temperatura, efectuándose pruebas experimentales a tres temperaturas diferentes (40, 50 y 60 °C) y concentración de metabisulfito de sodio en la solución para el pretratamiento del tomate, las cuales fueron de 0,1, 1 y 5% de metabisulfito de sodio en la solución. Las variables de respuesta fueron: humedad y tiempo de secado.

El proceso de secado fue realizado en el Laboratorio de Compuestos Bioactivos los cuales se encuentran en instalaciones del CEANID bajo condiciones controladas ya establecidas anteriormente, y en un ambiente seguro e higiénico.

De acuerdo al proceso de experimentación se seleccionó como mejor respuesta el proceso de deshidratado a una temperatura de 60 °C ya que el deshidratado a esa temperatura se efectúa en el menor tiempo, y mediante una valoración organoléptica del producto, el pretratamiento más apropiado para el deshidratado de tomate fresco es el de 0,1% de concentración de metabisulfito de sodio en la solución. Por lo tanto se concluye que el proceso más adecuado es el que corresponde al ensayo N° 9.

Mediante cálculos realizados se pudo determinar el tiempo promedio de deshidratación del tomate, el cual es de 3h, que puede variar de acuerdo a

la humedad de la materia prima, la madurez de la misma y las condiciones climáticas en las que se realice el proceso.

El análisis fisicoquímico del producto fue realizado en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID) el cual mostró un producto de calidad y una humedad final de 6,98% la cual es aceptable y está por debajo de la exigida por el código alimentario argentino.

El análisis microbiológico del producto fue realizado en el CEANID, indicando un adecuado pretratamiento para la inactivación de enzimas y por lo tanto un producto de calidad.

## BIBLIOGRAFÍA

- Amador P. (2014). Diseño de secador a bandejas para el secado de orégano. Investigación aplicada. (Lic. en Ing. Química). Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, Facultad de Ciencias y Tecnología. Tarija (Bolivia).
- Biotecnia. Universidad de Sonora. (2012). Tecnologías de deshidratación para la preservación de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). México.
- Centro de Exportación e Inversión de la República Dominicana (CEI-RD). (2012). Dominicana Exporta. Perfil Económico del tomate. República Dominicana.
- Coca Morante, M. (2012). Manejo de enfermedades en tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). (Boletín Técnico – Laboratorio de fitopatología FCAPFyV, UMSS. Cochabamba).
- El huerto 2.0 (2010). Tipos de tomates. México.
- Flores del Valle, W. (2004). Deshidratación de tomates – Procedimientos generales. (Ficha Técnica). Costa Rica.
- Gascon A. et al. (2006). Deseccación y deshidratación de vegetales. Mendoza (Argentina).
- Gómez Gómez, M. (2009). Deshidratado de tomate Saladette en un secador de charolas giratorias. (Tesis de grado – Universidad tecnológica de la Mixteca). México.
- Guachamin Velázquez C.D. (2007). Diseño de un secador de granos de cacao fino. Investigación aplicada. Escuela politécnica nacional. Facultad de ingeniería mecánica. Quito (Ecuador)
- Hernánz Mesero, P. y Pastor Manzano, J. (2009). El tomate, su cultivo y sus enfermedades.
- INE. (2012). Producción de tomate en Bolivia.
- Maupoey et al. (REPROVAL S.L.) (2001). Introducción al secado de alimentos por aire caliente.
- McCabe et al. (1998). Operaciones unitarias en ingeniería química. Editorial McGraw-Hill. España.
- Monsalve, J. et al. (2007). Evaluación de dos métodos de deshidratación del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) - variedad manzano. Venezuela.
- Mujica M. F. (2004). Elaboración de tomate seco en la provincia San Juan, Argentina. San Juan – Argentina. INTA.
- NatureChoice, SAT. (2012). Tomate pera. (Ficha técnica de producto Dpto. de Calidad. ITPC-RR.11.Rev01). España.
- Ocon J. y Tojo G. (1980). Problemas de ingeniería química. Editorial Aguilar. España. Fecha de consulta: 10 de noviembre de 2014.
- Potter N. y Hotchkiss J. (1999). Ciencia de los alimentos. Editorial Acribia. España
- Prochile (2008). Mercado del pimentón – Aji en polvo/deshidratado, Tomate en polvo/deshidratado en Australia. Sidney (Australia).
- SAGARPA. (2010). Jitomate. México.
- Santiago J. (2006). Plan de negocios de exportación para tomate deshidratado hacia los mercados de Estados Unidos y la Unión Europea. Catamarca (Argentina).
- Ramírez E. (1998). Elaboración de papaya deshidratada. Investigación aplicada. (Lic. en Ing. Química). Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, Facultad de Ciencias y Tecnología. Tarija (Bolivia). Fecha de consulta: 19 de noviembre de 2014.
- Villarroel D. (2000). Deshidratación de ajo. Investigación aplicada. (Lic. en Ing. Química). Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, Facultad de Ciencias y Tecnología. Tarija (Bolivia). Fecha de consulta: 19 de noviembre de 2014.

## ANÁLISIS COMPARATIVO DEL CONTENIDO DE TANINOS EN VINOS COMERCIALES DE TARIJA, BOLIVIA

### COMPARATIVE ANALYSIS OF TANNINS CONTENT OF COMMERCIAL WINES FROM TARIJA, BOLIVIA

Arteaga S. María del Carmen<sup>1</sup>, Callisaya A. Juan Carlos<sup>1</sup>, Gutiérrez B. Pastor<sup>1</sup>,  
Taquichiri T. Marco<sup>2</sup>, Paco S. Joel<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ingeniero Químico, Docentes investigadores - Laboratorio de Compuestos Bioactivos - Facultad de Ciencias y Tecnología - Universidad Autónoma "Juan Misael Saracho"

<sup>2</sup>M.Sc. Lic. Físico, <sup>3</sup>Ingeniero Civil - Docentes investigadores - Departamento de Física - Facultad de Ciencias y Tecnología - Universidad Autónoma "Juan Misael Saracho"

**Correo electrónico:** iisoc@hotmail.com

#### RESUMEN

La calidad de los vinos está fuertemente influenciada por los compuestos fenólicos, los cuales están compuestos por antocianos y taninos. Estos compuestos tienen su origen en la materia prima con la que se elabora el vino. En el presente trabajo, se presentan los resultados de la cuantificación del grupo de taninos aportados al vino por la uva, conocidos como flavanoles, procianidinas o taninos condensados. Los resultados del presente trabajo indican un contenido de taninos que oscilan entre 4,968 como valor máximo y 0,213 [g/Lt] como valor mínimo. Los valores medidos corresponden a vinos comerciales de las cosechas 2012, 2013 y 2015

**Palabras clave:** vino tinto, taninos, polifenoles, astringencia.

#### ABSTRACT

The wine quality is strongly influenced by phenolic compounds, which is composed of anthocyanins and tannins. These compounds have their origin in the raw material with which the wine is made. The results of the measurements of the tannins, known as flavanols, procyanidins or condensed tannins group, are presented.

The results of this study show that tannin content ranging between 4,968 and 0.213 [g /Lt], all were commercial wines from the 2012, 2013 and 2015 vintage

**Keywords:** red wine, tannins, polyphenols, astringency.

#### INTRODUCCIÓN

La uva contiene un amplio grupo de compuestos

fenólicos, también llamados polifenoles, y en su mayor parte proceden de las partes sólidas de la uva. Están ubicados principalmente en las pepitas y el hollejo, en menor medida en el raspón y muy escasamente en la pulpa. [1].

Estos compuestos fenólicos tienen una gran influencia en las características sensoriales como el color, cuerpo y astringencia. También están directamente relacionados en las transformaciones que se producen en el vino durante el almacenamiento, y marcan diferencias fundamentales entre vinos blancos y tintos. [2].

Estos compuestos tienen su origen en la materia prima con la que se elabora el vino. Procediendo principalmente de las semillas y los hollejos de la uva, los cuales son transferidos al vino durante el proceso de vinificación. Por ello, aquellos vinos cuyo mosto apenas está en contacto con dichas partes de la uva, como los blancos y rosados, tienen bajas concentraciones de taninos, mientras que los tintos elaborados en contacto con los hollejos, periodo que varía desde días a semanas, tienen concentraciones variables de taninos. Los taninos de las semillas y de los hollejos son comúnmente llamados "taninos condensados" [3].

Los taninos de la uva conocidos como flavanoles, procianidinas o taninos condensados, que no siendo necesariamente sinónimos, corresponden a términos que clasifican compuestos de una misma familia. Los taninos condensados de la uva experimentan una importante evolución en concentración como en su composición durante el tiempo de maduración de las bayas de uva, como lo son la astringencia y el amargor.

La astringencia es una sensación táctil que corresponde al grado de pérdida de lubricación de la cavidad bucal por la precipitación que los

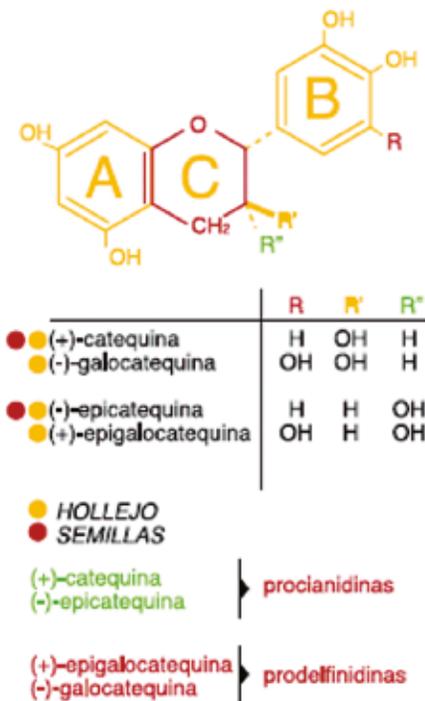
taninos provocan a la mucina y proteínas ricas en prolina, macromoléculas de la saliva, responsables de lubricar la boca generando de esta forma una sensación de aspereza y sequedad. Por otra parte, el amargor corresponde a un gusto percibido por las papilas gustativas que se encuentran en la parte posterior de la lengua.

Los taninos de las uvas se ubican en vacuolas tánicas presentes en la zona del hollejo y en las capas que recubren a las semillas.

La pulpa que inicialmente es rica en taninos en la primera etapa de su formación, los pierde por completo al llegar a la madurez. [4, 5, 6, 7]

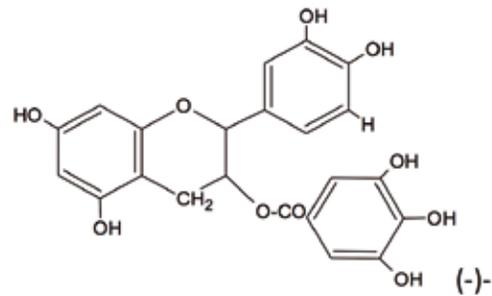
Los compuestos que forman la base de las estructuras de los taninos de las uvas corresponden a las procianidinas: (+)-catequina y (-)-epicatequina y a las prodelfinidinas: (+)-galocatequina y (-)-epigalocatequina [8]

**Figura 1.** Estructura general de los monómeros de flavanol en pieles y semillas.



En forma adicional los compuestos base de los taninos de la uva pueden estar unidos a otro elemento, el ácido gálico, llamando a compuestos enlazados a este ácido fenólico taninos galoilados (Figura 2). Esto es muy relevante porque a mayor presencia de ácido gálico en las estructuras de los taninos, es decir, mayor grado de galoilación, mayor amargor y astringencia. El grado de galoilación explica en forma importante la diferencia en la calidad de los taninos de las pieles y las semillas.

**Figura 2.** Estructura general de monómeros de flavanol unido al ácido gálico (galoilado).



(-)-EPICATEQUINA-3-O-galato

La concentración de taninos en los hollejos de la uva varía considerablemente con el clima, el suelo, y el tipo de variedad de la uva y prácticas vitivinícolas. [9]

Aunque las diferentes variedades de uva tengan cierta concentración de taninos en el hollejo, se ha observado que el vino producido no siempre tiene un nivel similar de taninos. [10, 11, 12]

El efecto del color de un vino, depende del tanino utilizado. Así cuando se trate de taninos condensados, al ser estos de similar naturaleza que las procianidinas naturales de la uva y del vino, pueden participar facilitando las combinaciones antociano-tanino y por tanto contribuir a la estabilización del color. Por otra parte, los taninos gálicos y taninos elágicos protegen a los antocianos de la oxidación, ya que ellos mismos pueden actuar regulando los fenómenos de Oxido-Reducción.

Hasta la fecha, en nuestro país, no se tiene reportes sobre estudios en taninos enológicos, a pesar de su amplio uso en la industria vinícola. Generalmente, los estudios han sido enfocados en la adición pre- y post- fermentación. [13, 14, 15]. La presencia de taninos son un tema de debate en múltiples revisiones nutricionales. Mientras que algunos autores defienden su impacto benéfico en la salud, otros señalan sus acciones anti fisiológicas en el organismo que los consume.

En un estudio realizado por Parker et al. 2007 [15], se añadieron taninos enológicos al vino, tanto antes como después de la fermentación alcohólica y después se estudió el impacto causado en la composición de fenoles, color y propiedades sensoriales.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Muestras de Vinos

Se tomaron muestras de 26 vinos tintos, las cuales

fueron almacenadas a temperatura ambiente y en oscuro hasta el momento del análisis. Todos los vinos fueron adquiridos de lugares de expendio en la ciudad de Tarija, habiendo sido luego codificados en orden alfabético. Los vinos del estudio fueron producidos en el departamento de Tarija y fueron seleccionados según las cosechas de 2012 al 2015 excluyendo la del 2014 debido a la inexistencia de una gran mayoría de ellos en esa temporada agrícola.

### Determinación del contenido de taninos

La determinación de la concentración de taninos se basa en la transformación de Proantocianidinas en antocianidinas por calentamiento en medio ácido. Los taninos en el vino tinto están constituidos por cadenas de flavanoles (procianidinas) más o menos polimerizadas, ya sea de manera homogénea, con un encadenamiento regular, o de manera heterogénea por diferentes uniones. En todos los casos, el calentamiento en medio ácido de esas moléculas conduce a la ruptura de de ciertas uniones y a la formación de carbocationes que se transforman parcialmente en cianidina si el medio es suficientemente oxidante (reacción de Bete-Smith).

Las muestras son preparadas en dos tubos de ensayo, uno para testigo y el otro para la hidrólisis; en este tubo se adicionaron sucesivamente 4 ml de vino diluido en agua destilada 1/50 ml, 2 ml de agua destilada y 6 ml de HCl 12 N. Seguidamente se colocó el tubo de hidrólisis cerrado en baño maría a 100 °C, durante 30 minutos, luego se enfrió en baño de agua helada. Posteriormente se añadió 1 ml de etanol al 95% en los ambos tubos para solubilizar el color rojo aparecido. Finalmente se mide la absorbancia a 550 nm en un espectrofotómetro UV-VIS bajo un recorrido óptico de 1 cm, utilizando como blanco agua destilada.

El contenido de taninos fueron determinados por la siguiente ecuación:

$$\text{Taninos [g/Lt]} = 19,33(\text{Abs ensayo} - \text{Abs testigo})$$

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Contenido de Taninos

La cantidad de taninos de los diferentes vinos producidos en el departamento de Tarija es muy variada (tabla 1, figura 3). Se observa que los vinos con los códigos I y R son los que presentan mayor contenido de taninos.

**Tabla 1.** Contenido de Taninos [g/Lt]

Código muestra	Abs ensayo	Abs testigo	Cont. Taninos [g/L]
A	0,11	0,036	1,430
B	0,171	0,054	2,262
C	0,217	0,135	1,585
H	0,298	0,141	3,035
I	0,354	0,097	4,968
J	0,258	0,102	3,015
K	0,278	0,111	3,228
L	0,233	0,108	2,416
M	0,193	0,04	2,957
N	0,23	0,038	3,711
O	0,255	0,172	1,604
P	0,312	0,171	2,726
R	0,345	0,109	4,562
S	0,231	0,064	3,228
U	0,085	0,074	0,213
W	0,17	0,062	2,088
X	0,252	0,143	2,107
Y	0,169	0,106	1,218
Z	0,182	0,025	3,035
AA	0,174	0,087	1,682
BB	0,232	0,092	2,706
F	0,209	0,13	1,537
F'	0,094	0,08	0,280
X6	0,304	0,134	3,296
S2	0,213	0,098	2,228
C2	0,18	0,122	1,121

**Figura 3.** Contenido de taninos en vinos tintos



Los tipos de taninos, al ser compuestos polifenólicos, son un tema de discusión respecto a sus propiedades antioxidantes. Los taninos hidrolizables, al encontrarse distribuidos ampliamente en plantas, son un parámetro importante de la calidad de los frutos, debido a ello no han recibido mucha atención en lo que se refiere a su impacto a la salud. Esto posiblemente es debido a las dificultades en su identificación, aislamiento, purificación y cuantificación. [16, 17, 18] (Côté et al., 2010; Monagas et al., 2010; Hagl et al., 2011). Por este motivo es posible encontrar

mayor referencia bibliográfica con respecto a los taninos condensados [19] (Beecher, 2003).

## CONCLUSIONES

El impacto positivo o negativo de la ingesta de taninos al consumir alimentos de origen vegetal, es el producto de diversas variables: el tipo de taninos presentes, la cantidad y fuente de los taninos y el tipo de población que lo ingiere, entre otras. Es probable que los niños con alguna deficiencia de minerales o en situación de riesgo de desnutrición en general, mujeres embarazadas y poblaciones con alguna deficiencia de proteínas, generalmente en la población vegetarianas puedan resentir con mayor fuerza los efectos adversos de los taninos. Sin embargo, no se debe pasar por alto el elevado potencial antioxidante de estos compuestos que, en circunstancias adecuadas, puede conferir un efecto protector a la salud.

## BIBLIOGRAFÍA

- Bourzeik M., Heredia N. y Kovac V., *Progrés Agric. Viticole*, 1983, 17, 421-7.
- Primo Yuféra E., *Química agrícola III. Alimentos, Capítulo 5. Las uvas y sus derivados*, Lafuente Ferriols B., Ed. Alhambra, Madrid, 314-337, 1979.
- Haslam, E., 1998. *Practical polyphenolics: from structure to molecular recognition and physiological action* (1st ed.). Cambridge: Cambridge University Press.
- Boselli, E.; Boulton, R.B.; Thorngate, J.H.; Frega, N.G. Chemical and sensory characterization of doc red wines from Marche (Italy) related to vintage and grape cultivars. *J. Agric. Food Chem.* 2004, 52, 3843-3854.
- Landon, J.L.; Weller, K.; Harbertson, J.F.; Ross, C.F. Chemical and sensory evaluation of astringency in Washington state red wines. *Am. J. Enol. Viticult.* 2008, 59, 153-158.
- Dinnella, C.; Recchia, A.; Fia, G.; Bertuccioli, M.; Monteleone, E. Saliva characteristics and individual sensitivity to phenolic astringent stimuli. *Chem. Senses* 2009, 34, 295-304.
- Baxter, N.J.; Lilley, T.H.; Haslam, E.; Williamson, M.P. Multiple interactions between polyphenols and a salivary proline-rich protein repeat result in complexation and precipitation. *Biochemistry* 1997, 36, 5566-5577.
- Usseglio-Tomasset, L. *Química enológica*. Ediciones Mundi-prensa 1998 capítulo V. pag. 73.
- Downey, M. O., Dokoozlian, N. K., & Kistic, M.P., 2006. Cultural practice and environmental impacts on the flavonoid composition of grapes and wine: A review of recent research. *American Journal of Enology and Viticulture*, 57 (3), 257-268.
- Adams, D.O., & Scholz, R.C., 2007. Tannins – the problem of extraction. In 13th Australian Wine industry technical conference (pp. 160-164).
- Hanlin R. L., & Downey, M.O., 2009. Condensed tannin accumulation and composition in skin of Shiraz and Cabernet Sauvignon grapes during berry development. *American Journal of Enology and Viticulture*, 60 (1), 13-23.
- Harbertson, J.F., Mireles, M.S., Harwood, E.D., Wellwe, K.M., & Ross, C.F., 2009. Chemical and sensory effects of Saignée, water addition and extended maceration on high Brix must. *Journal of Enology and Viticulture*, 60 (4), 450-460.
- Bautista-Ortín, A. B., Fernandez-Fernandez, J.I., López-Roca, J.M., & Gómez-Plaza, E., 2007. The effects of enological practices in anthocyanins, phenolic compounds and wine colour and their dependence on grape characteristics. *Journal of Food Composition and Analysis*, 20(7), 546-552.
- Main, G. L. and Morris, J.R., 2007. Effect of macerating enzymes and post-fermentation grape seeds tannin on the color of Cynthiana wines. *American Journal of Enology and Viticulture*, 46 (3), 363-367.
- Parker, M., Smith, P., Birse, M., Francis, I., Kwiatkowski, M., Lattey, K., Liebich, B. and Herderich, M., 2007. The effects of pre- and post-ferment additions of grape derived tannin on Shiraz wine sensory properties and phenolic composition. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 13:30-37.
- Cote, J., Caillet, S., Doyon, G., Sylvain, J., Lacroix, M. 2010. Analyzing cranberry bioactive compounds. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 9:872-888.
- Monagas, M., Urpi-Sarda, M., Sánchez-Patán, F., Llorach, R., Garrido, I., Gómez, C., Andres, C., Bartolomé, B. 2010. Insights into the metabolism and microbial biotransformation of dietary flavan-3-ols and the bioactivity of their metabolites. *Food Function* 3:233-253.
- Hagl, S., Deusser, H., Soyalan, B., Janzowski, C., Will, F., Dietrich, H., Albert, F., Rohner, S., Richling, E. 2011. Colonic availability of polyphenols and D(-) quinic acid after apple smoothie consumption. *Molecular Nutrition Food Research* 3:368-377.
- Beecher, G. 2003. Overview of dietary flavonoids: Nomenclature, occurrence and intake. *Journal of Nutrition* 133:3248s-3254s.

## 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 originalidad 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. 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 1. 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.anui.es.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.anui.es.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.

