

*Revista*

## CIENCIA

### Sumario

Volumen 14, número 1, 2011

- Estudio Comparativo de dos modelos para calcular la Presión Hidrodinámica. Aplicación a la presa Minas-La Unión-Pitahuiña** 001  
Roberto Aguiar Falconí y Diego Sosa Caiza
- Determinación de la Deformación Última en Hormigón Confinado usando un Modelo Probabilístico basado en Correcciones Bayesianas** 021  
Pablo Caiza
- Caracterización y estudio de la diversidad genética del Piñón (*Jatropha curcas*) mediante el uso de marcadores moleculares** 031  
Salinas N, Armijos V., Jiménez P. & Proaño K.
- Pernos estructurales de alta resistencia** 057  
Christian Garzón Chalco
- Identificación de la normativa legal ambiental aplicable al proyecto Complejo Refinador y Petroquímico del Pacífico** 079  
Tiffany Denise Andrade Roche
- Evaluación de la vulnerabilidad sísmica con Hazus-99 adaptado al Ecuador Utilizando CEINCI-LAB** 101  
Roberto Aguiar Falconí y Diego Barona

Revista Semestral de la Escuela Politécnica del Ejército Quito, Ecuador.

ISSN 1390-1117

© 2011 ESPE, Quito – Ecuador

ESPE, Quito – Ecuador

# **ESTUDIO COMPARATIVO DE DOS MODELOS PARA CALCULAR LA PRESIÓN HIDRODINÁMICA. APLICACIÓN A LA PRESA MINAS-LA UNIÓN-PITAHUIÑA**

**Roberto Aguiar Falconí y Diego Sosa Caiza**

Centro de Investigaciones Científicas  
Escuela Politécnica del Ejército  
[raguiar@espe.edu.ec](mailto:raguiar@espe.edu.ec)

## **RESUMEN**

Se presentan dos modelos para el cálculo de las Presiones Hidrodinámicas, el uno propuesto por Zangar y el otro por Housner. Ahora bien en el Método de Housner se demuestra que la solución de la ecuación diferencial mediante Diferencias Finitas es mucho más fácil que la solución analítica propuesta por el autor del método y los resultados que se obtienen son muy similares en presas con diferentes ángulos de inclinación de la cara que está en contacto con el agua.

Por otra parte, se presenta la variación de los coeficientes con los cuales se obtiene la fuerza total: horizontal, vertical y normal a la cara de la Presa en contacto con el agua, para ángulos de Presas variando de 0 a 90. También se ha incluido en el estudio la curva de los coeficientes de presión hidrodinámica, máximos.

Finalmente, se realiza un análisis sísmico, mediante Elementos Finitos, de la Presa Minas-La Unión-Pitahuiña, para un espectro inelástico que está asociado a un período de retorno de 970 años y se encuentra el coeficiente sísmico en base al cual se encuentran las Presiones Hidrodinámicas con los dos modelos. Además se encuentra el ancho de la franja de agua que influye en el cálculo de las presiones.

## **ABSTRACT**

Two models are presented for the calculation of Hydrodynamic Pressures, one of them proposed by Zangar and the other one proposed by Housner. Now in Housner Method it is demonstrated that the solution for the differential equation using Finite Differences is easier than the analytic solution proposed by the author of the method and the obtained results are very similar for dams with different inclination angles of the side that is in contact with water.

On the other hand, we present the variation of the coefficients with which the total force is obtained: horizontal, vertical and normal to the side of the Dam in contact with water, for angles of Dams varying from 0 to 90. In this study, the curve of the maximum coefficients of hydrodynamic pressure has also been included.

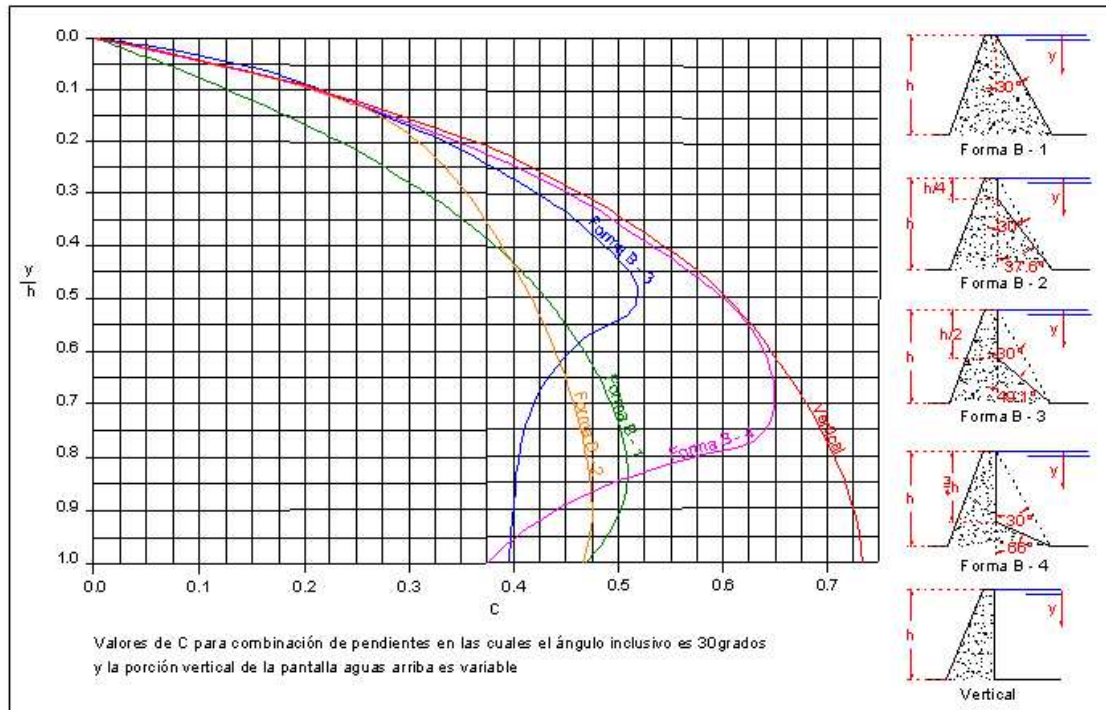
Finally, a seismic analysis is carried out, by means of Finite Elements, of Minas-La Unión-Pitahuiña Dam, for an inelastic spectrum that is related to a period of return of 970 years and the seismic coefficient is found out with which the Hydrodynamic Pressures are obtained with both models. In addition, the width of the water fringe that influences in the calculation of pressures is found out.

## 1. INTRODUCCIÓN

Existen varios modelos para evaluar las presiones hidrodinámicas en una Presa sometida a acciones sísmicas. Dos de ellos, son los modelos propuestos por Zangar y el de Housner los mismos que se presentan en este artículo y se aplican a la Presa del Proyecto Hidroeléctrico: Minas-La Unión-Pitahuiña.

### 1.1 Modelo de Zangar

Zangar (1952) mediante una analogía eléctrica y ondas de fluido estudió el movimiento de una cortina rígida con paramento inclinado en un vaso de longitud infinita suponiendo que el líquido es incompresible e inviscido. Un sistema es inviscido cuando las fuerzas viscosas existentes en el sistema son despreciables frente a las fuerzas inerciales.



**Figura 2** Valores de C para un ángulo incluyente de 30°.

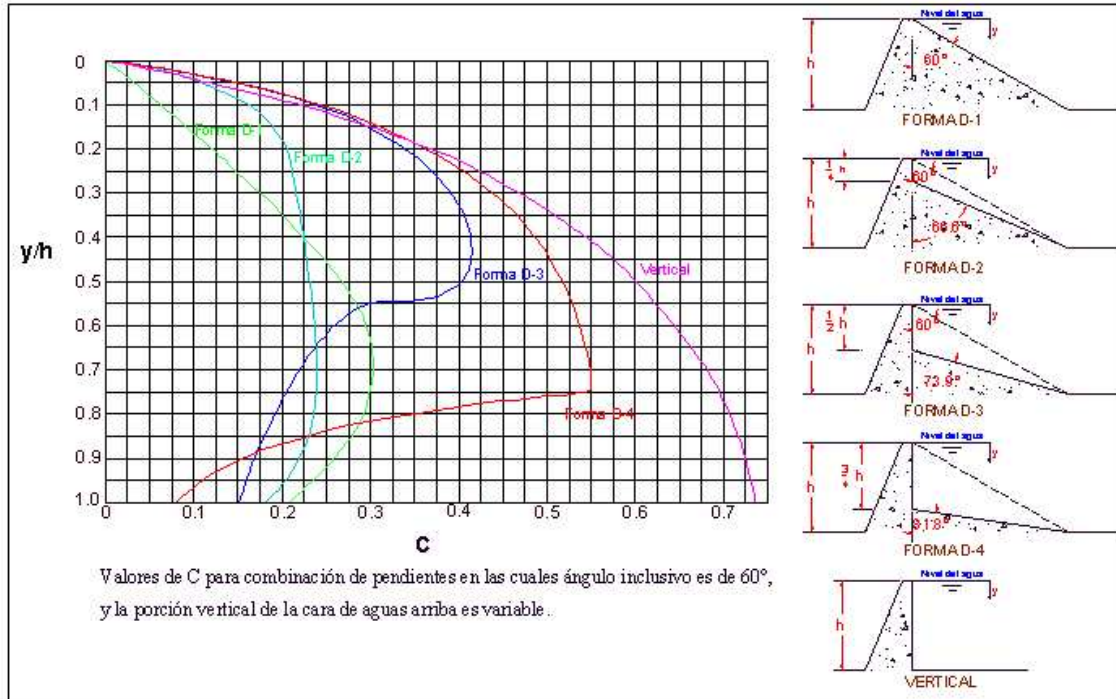
Además de ello, utilizando una analogía eléctrica y redes de flujo, amplió el trabajo para dos planos de paramento de las cortinas. Los resultados obtenidos en forma analítica fueron comparados con ensayos experimentales, encontrando una muy buena aproximación. La forma de encontrar la presión hidrodinámica horizontal es la siguiente:

$$P_e = C \alpha w h$$

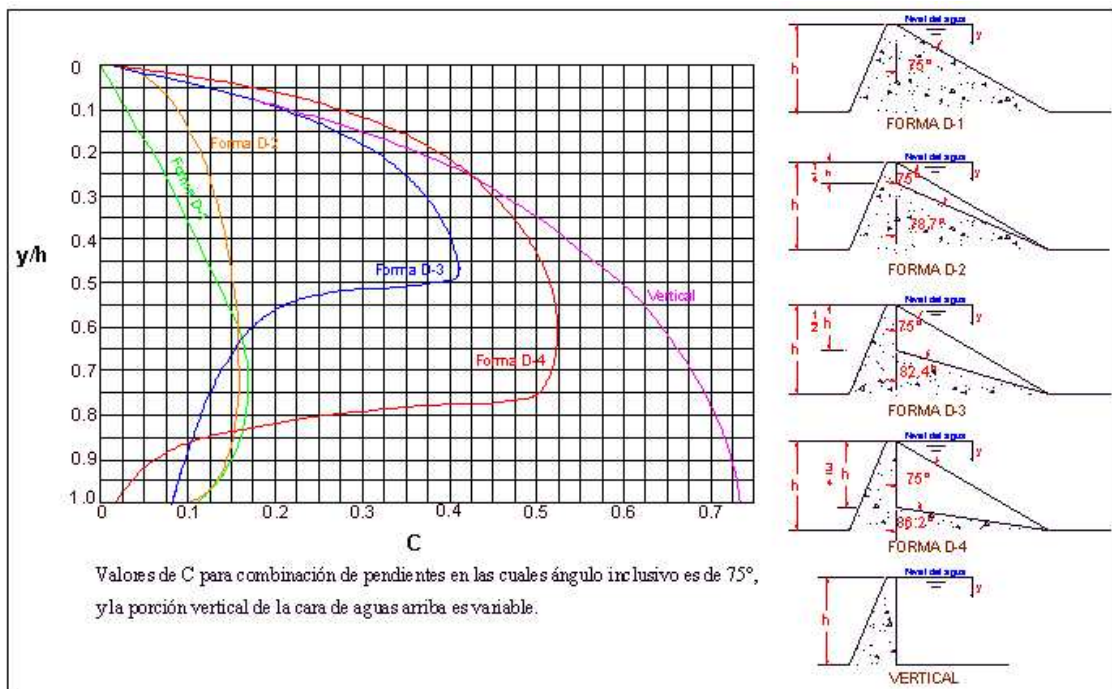
$$C = \frac{C_m}{2} \left[ \frac{y}{h} \left( 2 - \frac{y}{h} \right) + \sqrt{\frac{y}{h} \left( 2 - \frac{y}{h} \right)} \right] \quad (1)$$

Donde  $C$  se halla con la ecuación 1;  $\alpha$  es el coeficiente sísmico;  $w$  es el peso específico del agua;  $h$  es la altura total de agua almacenada;  $y$  es la distancia en la cual se

desea calcular la presión hidrodinámica, medida a partir de la superficie de agua;  $C_m$  es el mayor valor de las gráficas en las figuras 2 a 4. Nótese que la variable  $y$  se mide a partir del nivel de agua.



**Figura 3** Valores de  $C$  para un ángulo inclusivo de  $60^\circ$ .



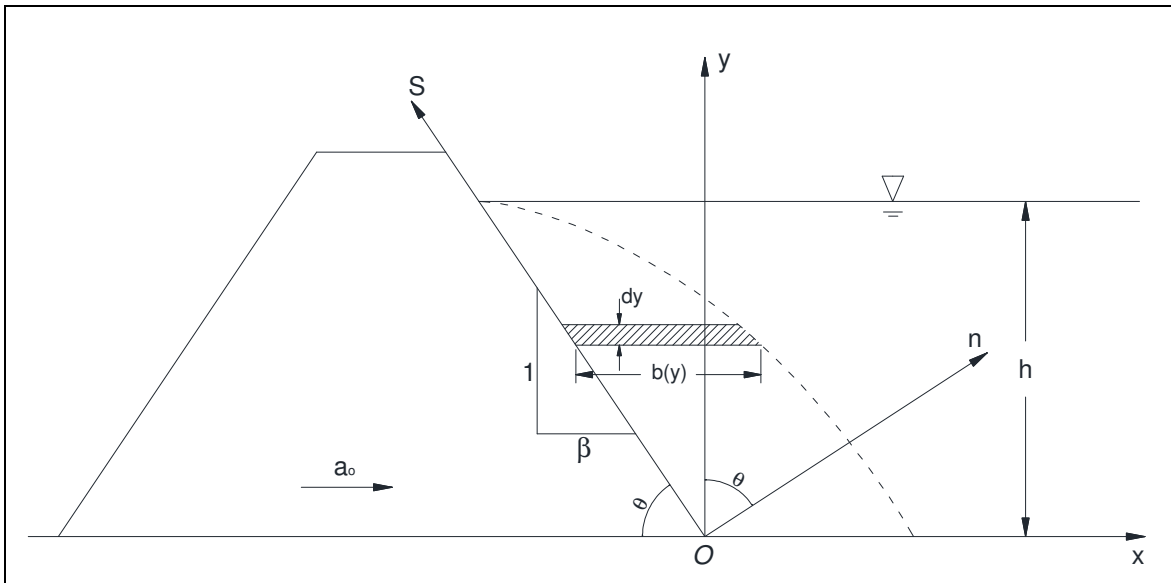
**Figura 4** Valores de  $C$  para un ángulo inclusivo de  $75^\circ$ .

En Aguiar y Tarambis (2010) se presentan otras tablas de variación de  $C$  para otro tipo de geometría de Presas.

## 1.2 Modelo de Housner

El desarrollo del modelo de Housner está descrito en Chwang y Housner (1978) y considera que el fluido es incompresible, irrotacional e inviscido. En la figura 5 se presentan la nomenclatura considerada para las variables. La cara de la Presa en contacto con el agua tiene un ángulo  $\theta$  como se aprecia en la figura 5 y se denomina  $\beta$  a la cotangente del ángulo  $\theta$ .

$$\beta = \cot \theta \quad (2)$$



**Figura 5** Descripción de las variables para el modelo de Housner.

Nótese que ahora la variable  $y$  se mide a partir del fondo del embalse, así en  $y = h$  se tiene el nivel de agua. Sea  $a_0$  la aceleración horizontal de la Presa debida a sismo en un instante de tiempo cualquiera, el mismo que permanece constante en el intervalo  $\Delta t$ ;  $b(y)$  es el ancho de influencia del agua en la cual se considera que actúa la presión hidrodinámica.  $n$  es el eje normal a la cara exterior a la Presa en contacto con el agua y la variable  $s$  es la dirección paralela.

La aceleración  $a_0$  debido a sismo, genera una Presión Hidrodinámica en el agua la misma que debe añadirse a la Presión Hidrostática. Este efecto se denomina de "masa añadida" y es valido para fluidos incompresibles. Se denomina  $a_{0n}$  a la componente normal de la aceleración  $a_0$  la misma que vale:

$$a_{0n} = a_0 \text{ sen } \theta = a_0 \frac{1}{\sqrt{1 + \beta^2}} \quad (3)$$

En el borde de la Presa en contacto con el agua se cumple que la aceleración en la Presa,  $a_{0n}$  es igual a la aceleración en ese punto, que se denomina,  $a_n(x, y)$ , debido a la presión hidrodinámica.

$$(4)$$

$$a_n(x, y) = a_{0n} \quad \text{Para } x = -\beta y$$

Se considera que la aceleración  $a_n$  actúa únicamente en una franja de longitud  $b(y)$ . Luego, se tiene:

$$\int_{-\beta y}^{\infty} a_n(x, y) dx = b(y) * a_{0n} \quad \text{Para } 0 \leq y \leq h \quad (5)$$

Es muy fácil demostrar que las componentes de la aceleración del fluido en las direcciones  $x, y$  valen:

$$\begin{aligned} a_x(x, y) &= a_{0n} \operatorname{sen} \theta - a_s(x, y) \cos \theta \\ a_y(x, y) &= a_{0n} \cos \theta + a_s(x, y) \operatorname{sen} \theta \end{aligned} \quad (6)$$

Siendo  $a_s$  la aceleración en la dirección  $s$ . Ahora aplicando el principio de la continuidad de la masa de fluido desplazada, se considera que la masa que se desplaza en sentido horizontal entre  $y = 0$  y un punto arbitrario de  $y$ , es igual a masa que atraviesa la franja de longitud  $b(y)$ . Esto implica lo siguiente:

$$y a_0 = b(y) a_{0n} \cos \theta + f(y) \operatorname{sen} \theta \quad (7)$$

$$f(y) = \int_{-\beta y}^{b-\beta y} a_s(x, y) dx \quad (8)$$

Del equilibrio de momentos, de las fuerzas en sentido  $x$  se obtiene:

$$\begin{aligned} F y &= a_x m y \\ p &= \frac{F}{dy} \rightarrow F = p dy \\ m &= \delta V = \rho b(y) dy 1 \end{aligned}$$

Donde  $p$  es la presión hidrodinámica;  $\rho$  es la densidad del agua. El análisis se realiza por unidad de profundidad. Luego de reemplazar y simplificar algunos términos se obtiene:

$$p = \rho (b(y) a_{0n} \operatorname{sen} \theta - f(y) \cos \theta)$$

En lo que sigue, por facilidad de escritura se colocará  $b$  en lugar de  $b(y)$  y  $f$  en lugar de  $f(y)$ . Con esta notación la ecuación resultante del equilibrio de momentos con fuerzas horizontales, es:

$$p = \rho (b a_{0n} \operatorname{sen} \theta - f \cos \theta) \quad (9)$$

Al proceder en forma similar pero con las fuerzas verticales, se halla el momento con respecto al eje  $y$ , obteniendo lo siguiente. Chwan y Housner (1978).

$$p \cot \theta - \frac{d(p b)}{dy} = \rho (b a_{0n} \cos \theta + f \operatorname{sen} \theta) \quad (10)$$

➤ **Cálculo de la Presión**

La ecuación (7) se multiplica por  $\cos \theta$ , y la ecuación (9) por  $\operatorname{sen} \theta$ . Al sumar estas dos ecuaciones se tiene:

$$y a_0 \cos \theta + \frac{p}{\rho} \operatorname{sen} \theta = b a_{0n}$$

$$y a_0 \frac{\beta}{\sqrt{1+\beta^2}} + \frac{p}{\rho} \frac{1}{\sqrt{1+\beta^2}} = b \frac{a_0}{\sqrt{1+\beta^2}}$$

Luego de simplificar términos y al despejar la presión  $p$  se halla:

$$p = \rho a_0 (b - \beta y) \quad (11)$$

En función del peso específico  $w$  y del coeficiente sísmico  $\alpha$ . Se tiene que:

$$\rho = \frac{w}{g} \quad \alpha = \frac{a_0}{g}$$

$$p = w \alpha (b - \beta y) \quad (12)$$

➤ **Ecuación diferencial**

Al reemplazar en la ecuación (10) la ecuación (7) se tiene:

$$p \cot \theta - \frac{d(p b)}{dy} = \rho (y a_0)$$

Ahora al reemplazar en esta última expresión, la ecuación (11) se obtiene:

$$\rho a_0 (b - \beta y) \cot \theta - \frac{d(\rho a_0 (b - \beta y) b)}{dy} = \rho (y a_0)$$

Considerando que  $a_0$  es constante en el intervalo de tiempo  $\Delta t$  y que la densidad es constante; estas dos variables salen de la derivada y se simplifican, con lo que se obtiene la ecuación diferencial que gobierna el problema de la presión hidrodinámica para el modelo de Housner.

$$(b - \beta y) \beta - \frac{d((b - \beta y) b)}{dy} = y \quad (13)$$

La presión en la superficie vale cero. Luego en  $y = h$ , se tiene que  $p = 0$ . Al reemplazar esta condición en la ecuación (11) se tiene la condición de contorno de la ecuación (13). Esta es:

$$b = \beta h \quad \text{Para } y = h \quad (14)$$

Chwang y Housner (1978) realizan el siguiente cambio de variable:

$$(15)$$

$$A(y) = 2b - \beta y$$

De la ecuación (15) se halla:

$$b = \frac{A(y) + \beta y}{2} \quad (16)$$

Al reemplazar (16) en (13) se tiene:

$$\begin{aligned} \left[ \frac{A(y) + \beta y}{2} - \beta y \right] \beta - \frac{d}{dy} \left( \left( \frac{A(y) + \beta y}{2} - \beta y \right) \left\{ \frac{A(y) + \beta y}{2} \right\} \right) &= y \\ \beta [A(y) - \beta y] - \frac{1}{2} \frac{d}{dy} \{ [A(y) - \beta y][A(y) + \beta y] \} &= 2y \\ \beta A(y) - \beta^2 y - \frac{1}{2} \frac{d}{dy} \{ A^2(y) - \beta^2 y^2 \} &= 2y \\ \beta A(y) - \beta^2 y - \frac{1}{2} 2A(y) \frac{dA(y)}{dy} + \frac{1}{2} \beta^2 2y &= 2y \end{aligned}$$

Finalmente, luego de simplificar términos y cambiar de signo se halla:

$$A(y) \frac{dA(y)}{dy} - \beta A(y) = -2y \quad (17)$$

Al reemplazar (14) en (15) se tiene la nueva condición de borde asociada a la ecuación diferencial (17), esta resulta.

$$A(y = h) = \beta h \quad (18)$$

## 2. SOLUCIÓN DE ECUACIÓN DIFERENCIAL

La solución de la ecuación diferencial (17) con la condición de borde indicada en la ecuación (18) está resuelta en Chwan y Housner (1978) y es la siguiente:

$$\begin{aligned} \ln \left( \frac{A^2 - \beta A y + 2 y^2}{2 h^2} \right) \\ = \frac{2\beta}{\sqrt{(8 - \beta^2)}} \left[ \tan^{-1} \left( \frac{\beta}{\sqrt{(8 - \beta^2)}} \right) - \tan^{-1} \left( \frac{2A - \beta y}{y \sqrt{(8 - \beta^2)}} \right) \right] \quad (\beta^2 < 8) \quad (19) \end{aligned}$$

$$= \frac{\beta}{\sqrt{(\beta^2 - 8)}} \left[ \ln \left( \frac{\beta - \sqrt{\beta^2 - 8}}{\beta + \sqrt{\beta^2 - 8}} \right) - \ln \left( \frac{2A - \beta y - \sqrt{\beta^2 - 8} y}{2A - \beta y + \sqrt{\beta^2 - 8} y} \right) \right] \quad (\beta^2 > 8) \quad (20)$$

La solución depende del valor de  $\beta$ . En efecto, si  $\beta^2 < 8$ , la solución está dada por la ecuación (19) y si  $\beta^2 > 8$  la solución es la presentada en la ecuación (20). Para los dos casos la solución es difícil y más que ello para encontrar el valor de  $A(y)$  se debe utilizar algún método numérico como es el de Newton Raphson.



La solución de la ecuación diferencial (17) es muy sencilla si se utilizan diferencias finitas y es de esa forma como se resuelve en este apartado. Se puede emplear la diferencia regresiva para la primera derivada y hallar las respuestas desde  $y = h$ , hasta  $y = 0$ . Para  $y = h$  se tiene la ecuación (18), esta es la condición inicial.

Otra forma de resolver es con las diferencia progresiva para la primera derivada pero para ello se necesita conocer la condición de borde en  $y = 0$ . De esta manera es como se va a resolver, por este motivo se reemplaza  $y = 0$  en las ecuaciones (19) y (20) con lo que se obtiene:

$$\frac{b_0}{h} = \left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{\sqrt{2}} \exp \left[ -\frac{\beta}{\sqrt{8-\beta^2}} \left\langle \frac{\pi}{2} - \tan^{-1} \left( \frac{\beta}{\sqrt{8-\beta^2}} \right) \right\rangle \right] \quad (\beta^2 < 8) \\ \frac{1}{\sqrt{2}} \left[ \frac{\beta - \sqrt{\beta^2 - 8}}{\beta + \sqrt{\beta^2 - 8}} \right]^{\frac{\beta}{2\sqrt{\beta^2 - 8}}} \quad (\beta^2 > 8) \end{array} \right. \quad (21)$$

Donde  $b_0$  es el ancho de agua cooperante en  $y = 0$ . Al sustituir este valor en la ecuación (15) se tiene la condición inicial  $A(y = 0) = 2 b_0$

## 2.1 Diferencias Finitas

En la tabla 1 se ha denominado  $U_Y = \frac{dU}{dY}$ ;  $U_{YY} = \frac{d^2U}{dY^2}$ ,  $U_{YYY}$  es la tercera derivada de una variable cualquiera  $U$  con respecto a  $Y$ ;  $U_{YYYY}$  es la cuarta derivada. Para la solución de la ecuación diferencial identificada por la ecuación (17) únicamente se utilizará la primera derivada; por cierto en lugar de tener la variable  $U$  se tendrá la variable  $A$ . Todas las aproximaciones de las derivadas indicadas en la tabla 1 son fórmulas progresivas ordinarias debido a que involucran a puntos que se encuentran en la parte superior del punto pivote. En la segunda columna de la tabla 1, se tiene el factor, el mismo que es función del paso  $k$ . Luego se tienen los puntos que se involucran en el cálculo de la derivada y finalmente se ha presentado el primer término del error. Aguiar (1991).

**Tabla 1** Fórmulas progresivas ordinarias

| Derivada   | Factor          | $U_i$ | $U_{i+1}$ | $U_{i+2}$ | $U_{i+3}$ | $U_{i+4}$ | Error                    |
|------------|-----------------|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------------------|
| $U_Y$      | $\frac{1}{k}$   | -1    | 1         |           |           |           | $\frac{-k U_{YY}}{2}$    |
| $U_{YY}$   | $\frac{1}{k^2}$ | 1     | -2        | 1         |           |           | $-k U_{YYY}$             |
| $U_{YYY}$  | $\frac{1}{k^3}$ | -1    | 3         | -3        | 1         |           | $\frac{-3k U_{YYYY}}{2}$ |
| $U_{YYYY}$ | $\frac{1}{k^4}$ | 1     | -4        | 6         | -4        | 1         | $-2k U_{YYYY}$           |

Al reemplazar la aproximación de la primera derivada en la ecuación (17) se halla, la ecuación en diferencias finitas, esta resulta:

$$A_j \left[ \frac{A_{j+1} - A_j}{k} \right] - \beta A_j = -2 * y_j$$

$$A_{j+1} = \beta k - 2 * k * \frac{y_j}{A_j} + A_j \quad (23)$$

La solución con diferencias finitas (ecuación 23) es extremadamente sencilla en comparación con la solución analítica exacta, ecuaciones (19) y (20). La condición inicial para la ecuación (23) es  $A(y = 0) = 2 b_0$ .

## 2.2 Presión Hidrodinámica

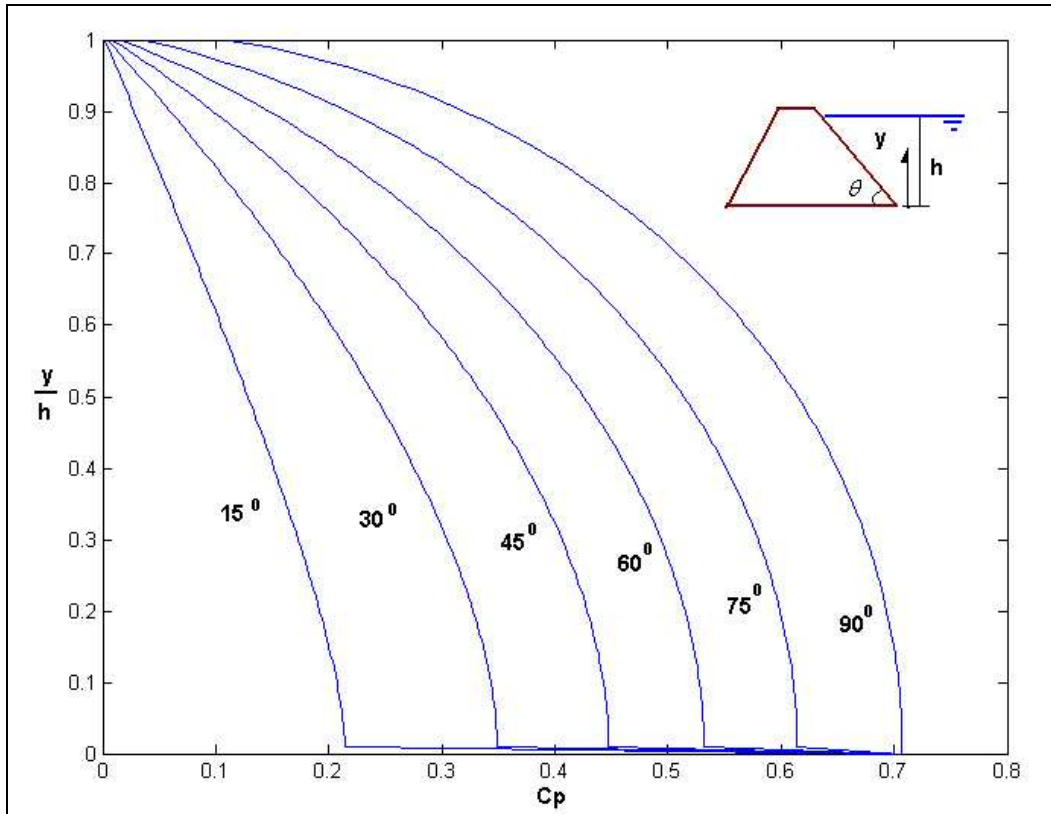
Al remplazar la ecuación (16) en la ecuación (12) se halla que la presión hidrodinámica horizontal vale:

$$p = w \alpha \left( \frac{A(y) - \beta y}{2} \right) \quad (24)$$

Si se compara la ecuación (24) con la ecuación (1) se encuentra que el coeficiente de la presión hidrodinámica  $C_p$ , vale:

$$C_p = \frac{A(y) - \beta y}{2 h} \quad (25)$$

En la figura 6 se presentan valores de  $C_p$  para ángulos  $\theta$  que varían desde  $15^\circ$  hasta  $90^\circ$  hallados resolviendo la ecuación diferencial con diferencias finitas. En las ordenadas se tiene la relación  $y/h$ .

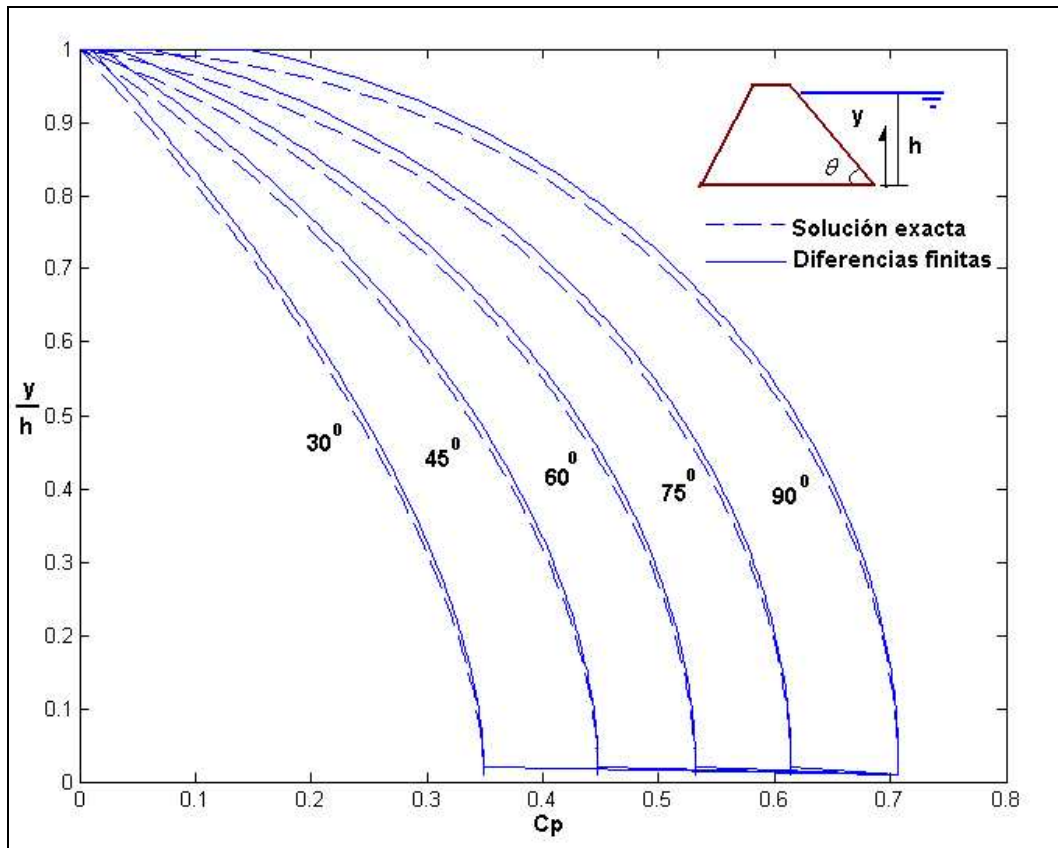


**Figura 6** Valores de  $C_p$  para algunos valores de  $\theta$  empleando Diferencias Finitas.

### 2.3 Comparación con solución analítica

En la figura 7 se presenta la variación de  $C_p$  hallada con la solución de la ecuación diferencial en forma exacta, ecuación (19) y la que se obtiene mediante Diferencias Finitas; para valores de  $\theta$  que varían de  $30^\circ$  a  $90^\circ$ . No se colocó para  $\theta = 15^\circ$  debido que para este valor se debe encontrar la solución exacta con la ecuación (20) y parece ser que esta solución está mal escrita.

Para los valores de  $\theta$  presentados se aprecia que los valores de  $C_p$  hallados mediante diferencias finitas son muy parecidos a los que se encuentran con la solución exacta, especialmente para valores de  $y/h < 0.5$ . Para valores de  $0.5 < y/h < 0.9$  la aproximación entre las dos soluciones también es bastante buena pero para valores de  $y/h > 0.9$  la solución es considerable especialmente para valores de  $\theta > 60^\circ$ .



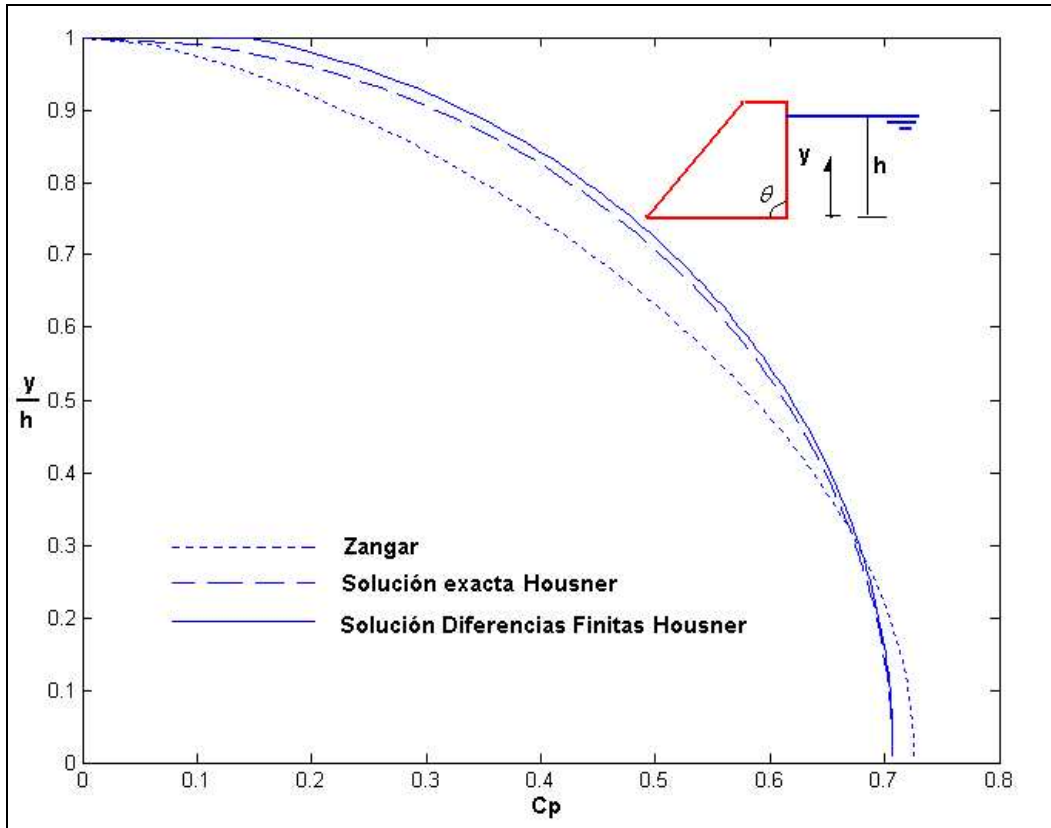
**Figura 7** Solución analítica exacta y solución mediante Diferencias Finitas.

Pero desde el punto de vista práctico tener valores más altos de la presión hidrodinámica, hallados con Diferencias Finitas, en lugar que con la solución Analítica Exacta no influye mayormente debido a que en los puntos que se encuentran cerca del borde libre de agua son bajos.

## 2.4 Comparación con modelo de Zangar

Solamente para el caso de  $\theta = 90^\circ$  se comparan los valores de  $C_p$  que se obtienen al aplicar la ecuación propuesta por Zangar (ecuación 1); y las de Housner halladas con Diferencias Finitas y mediante la solución analítica exacta; los resultados se muestran en la figura 8. La impresión general es que las tres curvas son bastante parecidas, de tal manera que el Método del Momento es bastante confiable.

Luego se aprecia que el modelo de Zangar presenta valores menores para el rango comprendido entre:  $0.3 < y/h < 1$ . Para valores de  $y/h < 0.3$  los valores hallados con la ecuación de Zangar son mayores.



**Figura 8** Valores de  $C_p$  hallados con: Zangar; Solución Exacta y Diferencias Finitas.

### 3. FUERZA HORIZONTAL, VERTICAL Y NORMAL

Estrictamente, la presión hidrodinámica  $p$  actúa en sentido perpendicular a la cara de la presa que está en contacto con el agua. Luego la fuerza  $F_z = p (dz * 1)$  (ver figura 9). Pero el diferencial  $dz = \frac{dy}{\text{sen } \theta}$ . Con estas acotaciones, al observar la figura 9 se aprecia que la fuerza vertical  $F_y$  vale:

$$F_y = \int_0^h p \left( \frac{dy}{\text{sen } \theta} \right) \cos \theta = \int_0^h p dy \cot \theta = \beta \int_0^h p dy \quad (26)$$

Al sustituir la ecuación (12) que determina la presión  $p$  en la ecuación (21), se halla:

$$F_y = \beta w \alpha \int_0^h (b - \beta y) dy \quad (27)$$

De la ecuación (13) se halla al integrar los dos lados:

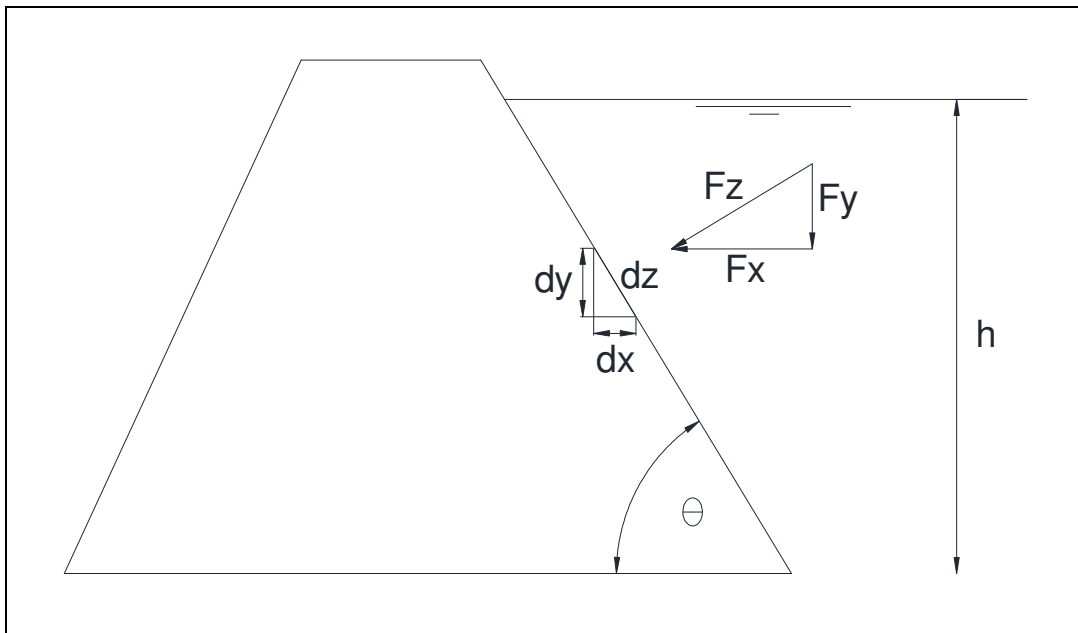
$$\int_0^h (b - \beta y) \beta dy - \int_0^h y dy = [b(b - \beta y)]_0^h$$

De donde:

$$\int_0^h (b - \beta y) \beta dy = \left[ b(b - \beta y) + \frac{y^2}{2} \right]_0^h$$

Se conoce que en  $b(h) = \beta h$  (en  $y = h$ ) y que en  $(y = 0)$  el ancho vale  $b_0$ . Con estas acotaciones la integral vale:

$$\int_0^h (b - \beta y) \beta dy = \frac{h^2}{2} - b_0^2$$



**Figura 9** Fuerza horizontal, vertical y normal que actúan en borde de Presa en contacto con el agua.

Luego la fuerza total  $F_Y$  vale:

$$F_Y = w \alpha \left( \frac{h^2}{2} - b_0^2 \right) = w \alpha h^2 \left[ \frac{1}{2} - \left( \frac{b_0}{h} \right)^2 \right]$$

$$F_Y = w \alpha h^2 C_Y \quad C_Y = \left[ 0.5 - \left( \frac{b_0}{h} \right)^2 \right] \quad (28)$$

En forma similar se halla la fuerza horizontal total  $F_X$  debida a la presión hidrodinámica.

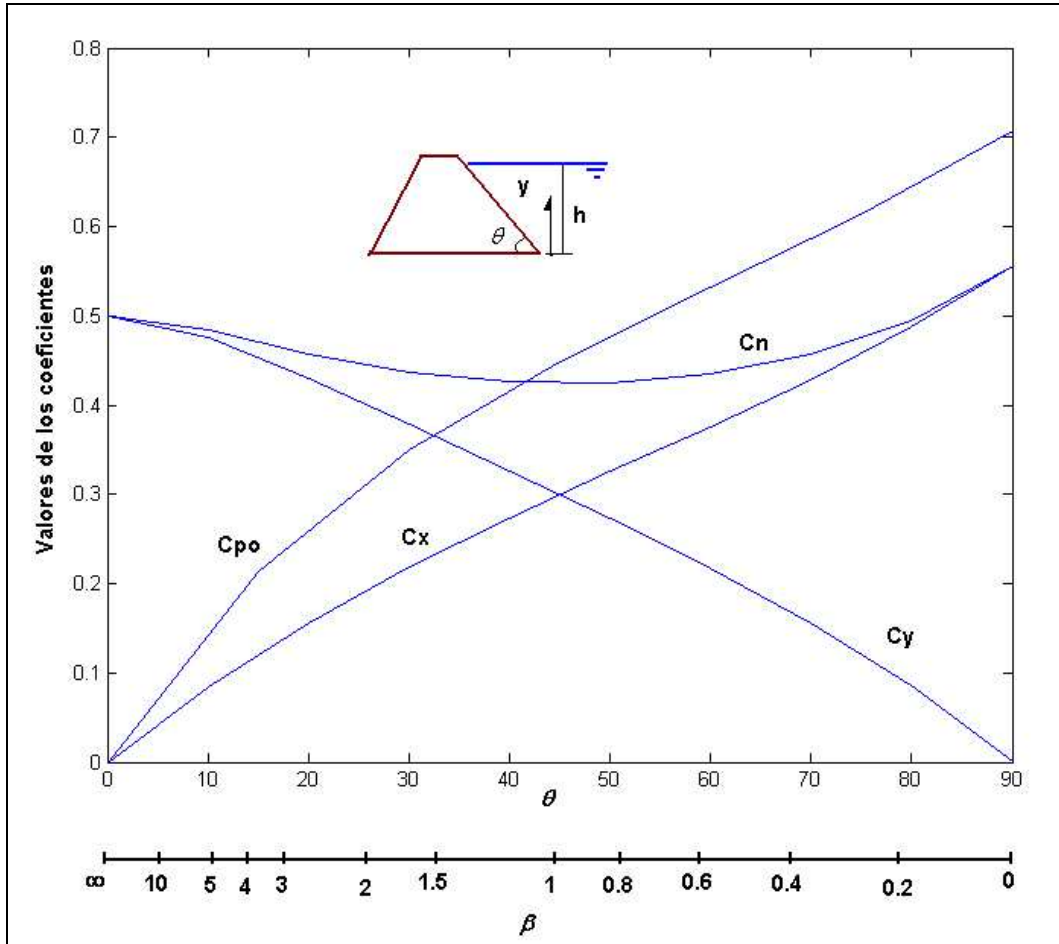
$$F_X = w \alpha h^2 C_X \quad C_X = C_Y / \beta \quad (29)$$

Finalmente, la fuerza normal total  $F_n$  se halla con la siguiente expresión.

$$F_n = w \alpha h^2 C_n \quad C_n = \sqrt{C_X^2 + C_Y^2} \quad (30)$$

En la figura 10 se ha dibujado los coeficientes  $C_Y$  que se halla con la ecuación (28);  $C_X$  que se encuentra con la ecuación (29);  $C_n$  que se determina con la ecuación (30) y los valores

máximos del coeficiente de la presión hidrodinámica  $C_p$  que se ha denominado  $C_{p0}$  los mismos que se hallan con la ecuación (25).



**Figura 10** Coeficientes para determinar la fuerza total: vertical  $C_Y$ , horizontal  $C_X$ , normal  $C_n$  y valores máximos de la presión  $C_{p0}$  para diferentes ángulos de inclinación  $\theta$  y  $\beta = \cot g\theta$ .

### 3.1 Casos particulares

En la determinación de los valores con los cuales se construye la figura 10 se debe tener en cuenta los siguientes casos particulares.

$$C_X = C_n = \frac{\pi}{4\sqrt{2}} = 0.555 \quad C_Y = 0 \quad (\beta = 0) \quad (31)$$

$$C_X = 0 \quad C_Y = C_n = \frac{1}{2} \quad (\beta \rightarrow \infty) \quad (32)$$

Las ecuaciones (31) y (32) se hallan a partir de las ecuaciones (28), (29) y (30).

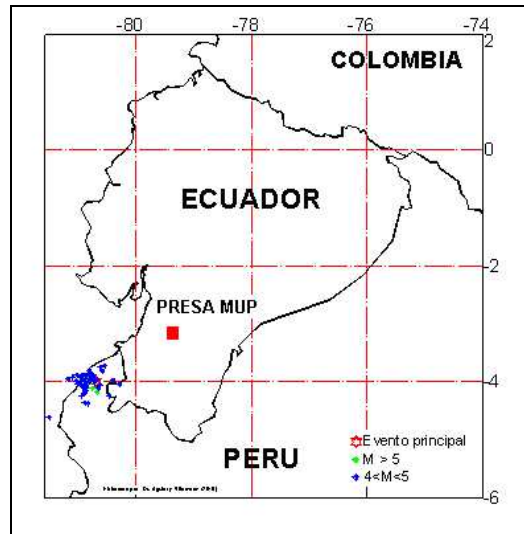
### 3.2 Comentarios

En la figura 10 se aprecia que el coeficiente  $C_n \approx 0.5$  para cualquier valor del ángulo  $\theta$ . Luego como una muy buena aproximación se puede encontrar la fuerza total normal de la siguiente manera:

$$F_n = 0.5 w \alpha h^2 \quad (0 \leq \theta \leq 90) \quad (33)$$

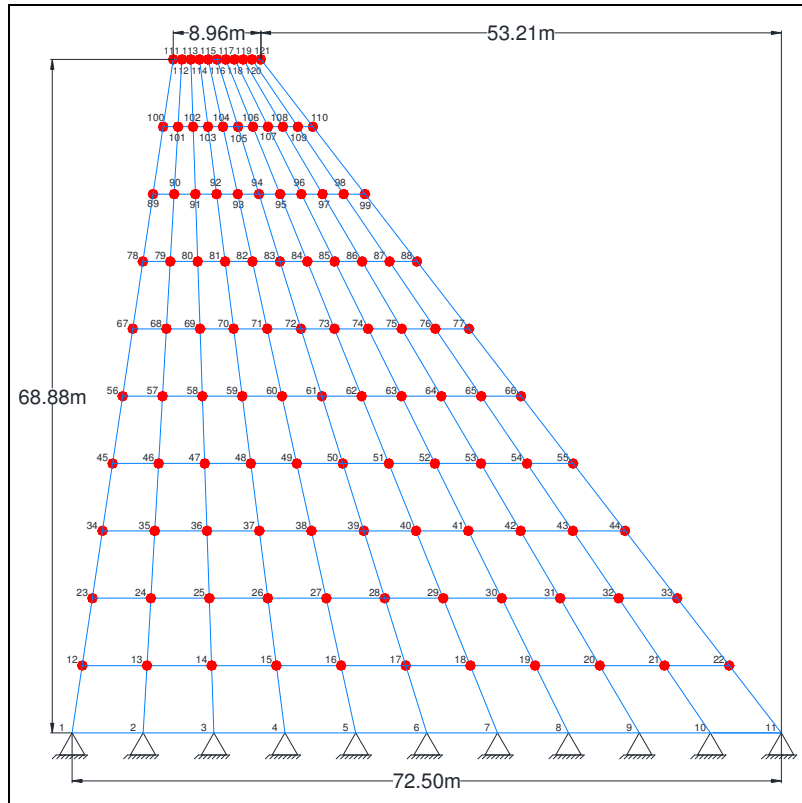
#### 4. APLICACIÓN A LA PRESA MINAS-LA UNIÓN-PITAHUIÑA

La Presa del Proyecto Hidroeléctrico Minas-La Unión-Pitahuiña, se encuentra ubicada en las siguientes coordenadas geográficas: Latitud  $3^{\circ} 18' 58''$  S., y Longitud  $79^{\circ} 28' 54''$  W., aprovechará las aguas del río Jubones para la generación de energía eléctrica. En la figura 11 se muestra la ubicación de la Presa.



**Figura 11** Ubicación de la Presa Minas-La Unión-Pitahuiña. Aguiar (2010,1)

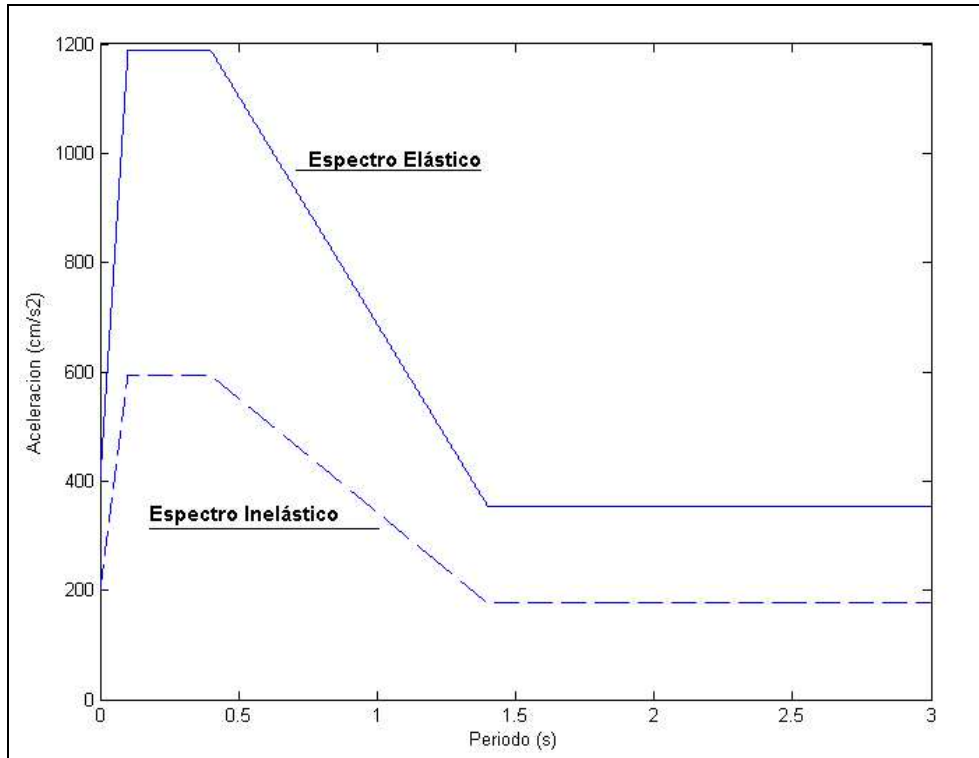




**Figura 12** Modelo de masas concentradas en Presa Minas-La Unión- Pitahuiña

La Presa Minas-La Unión-Pitahuiña se construirá con hormigón rodillado, que tiene un resistencia a la compresión de  $140 \text{ kg/cm}^2$ . En Aguiar (2010,2) se presentan más detalles de la Presa. En la figura 12 se muestra un corte de la Presa en el centro, se aprecia que tiene una altura de 68.88 m., una base de 72.50 m., en la parte superior la base es de 8.96 m. La cara de la Presa que está en contacto con el agua se encuentra a la izquierda en la figura 12.

Para el análisis sísmico se han considerado 10 divisiones en el sentido y 10 divisiones en el sentido Y, de tal manera que se tienen 100 elementos finitos tipo Q4, suavizados por flexión. Las masas se han concentrado en todos los nudos como se observa en la figura 12. Se realiza el análisis sísmico utilizando el espectro inelástico indicado en la figura 12, el mismo que fue hallado de un estudio de Peligrosidad Sísmica para el sitio del Proyecto de la Presa, para un período de retorno de 970 años. Aguiar (2010,1).

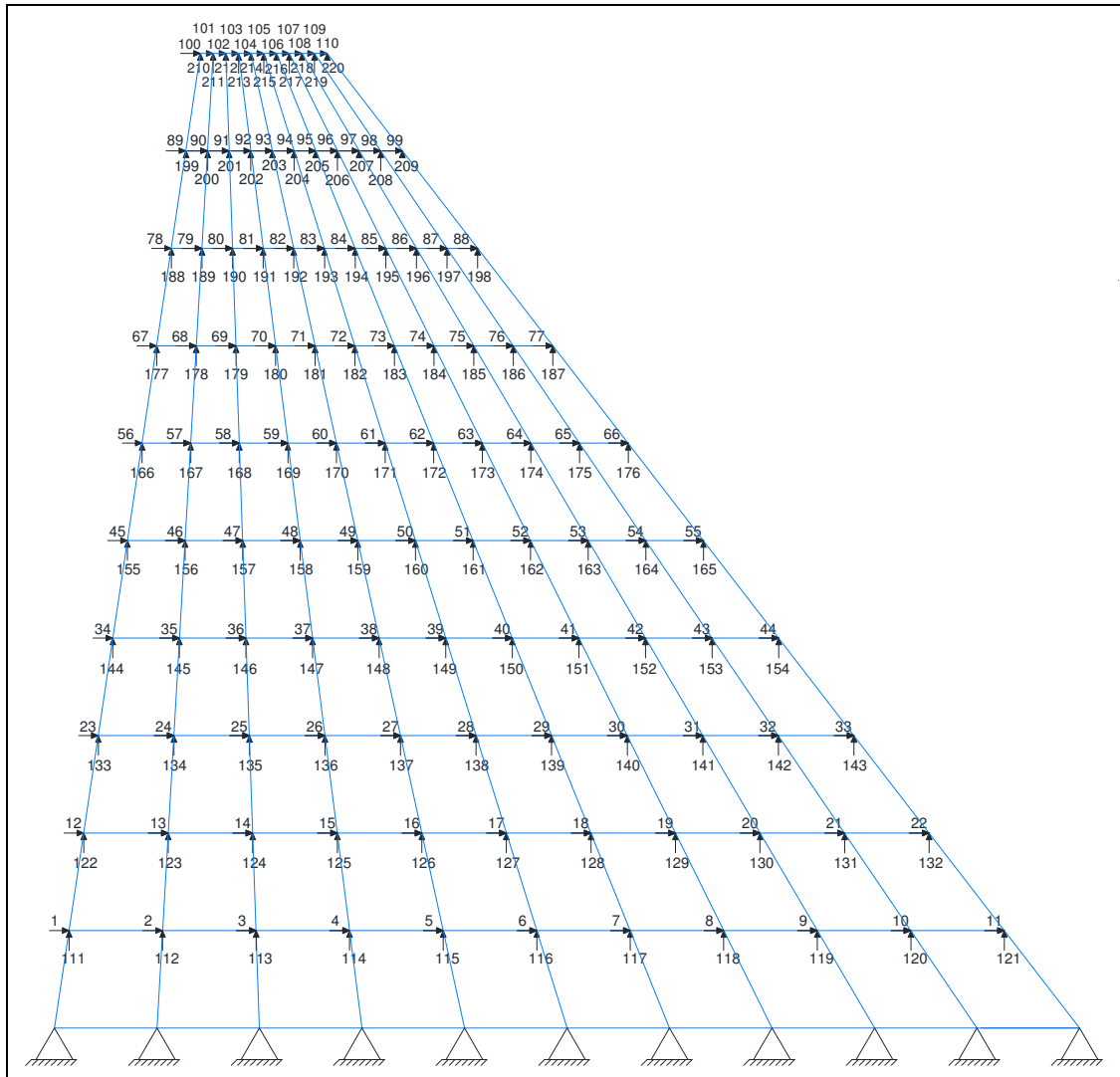


**Figura 12** Espectro Elástico e Inelástico obtenido de estudio de Peligrosidad Sísmica. Aguiar (2010,1)

Las ecuaciones que definen la rama del espectro inelástico son las siguientes:

$$\begin{aligned}
 T < 0.10 & \quad A_d = \frac{396}{R} + \frac{792}{0.10 * R} * T \\
 0.10 < T < 0.40 & \quad A_d = \frac{1188}{R} \\
 0.40 < T < 1.40 & \quad A_d = \frac{1521.8 - 834.43 T}{R} \\
 T > 1.40 & \quad A_d = \frac{353.37}{R}
 \end{aligned}
 \tag{34}$$

Donde  $T$  es el período de la estructura;  $A_d$  es la aceleración espectral en  $\text{cm}/\text{seg}^2$ ;  $R$  es el factor de reducción de las fuerzas sísmicas, se considera  $R = 2$  debido a la sobre resistencia de la estructura.



**Figura 13** Grados de libertad considerados en el Análisis Sísmico.

El análisis sísmico se realiza con el elemento finito Q4, que considera dos grados de libertad por nodo, el marco teórico de este elemento finito está descrito en Aguiar (2010,3). Es un elemento finito suavizado por flexión.

Para el análisis sísmico en sentido horizontal se han numerado en primer lugar todos los grados de libertad horizontal de izquierda a derecha y de abajo hacia arriba, como se observa en la figura 13. Luego se han numerado todos los grados de libertad verticales. Se tiene 110 coordenadas principales (grados de libertad horizontal) y 110 coordenadas secundarias (grados de libertad verticales).

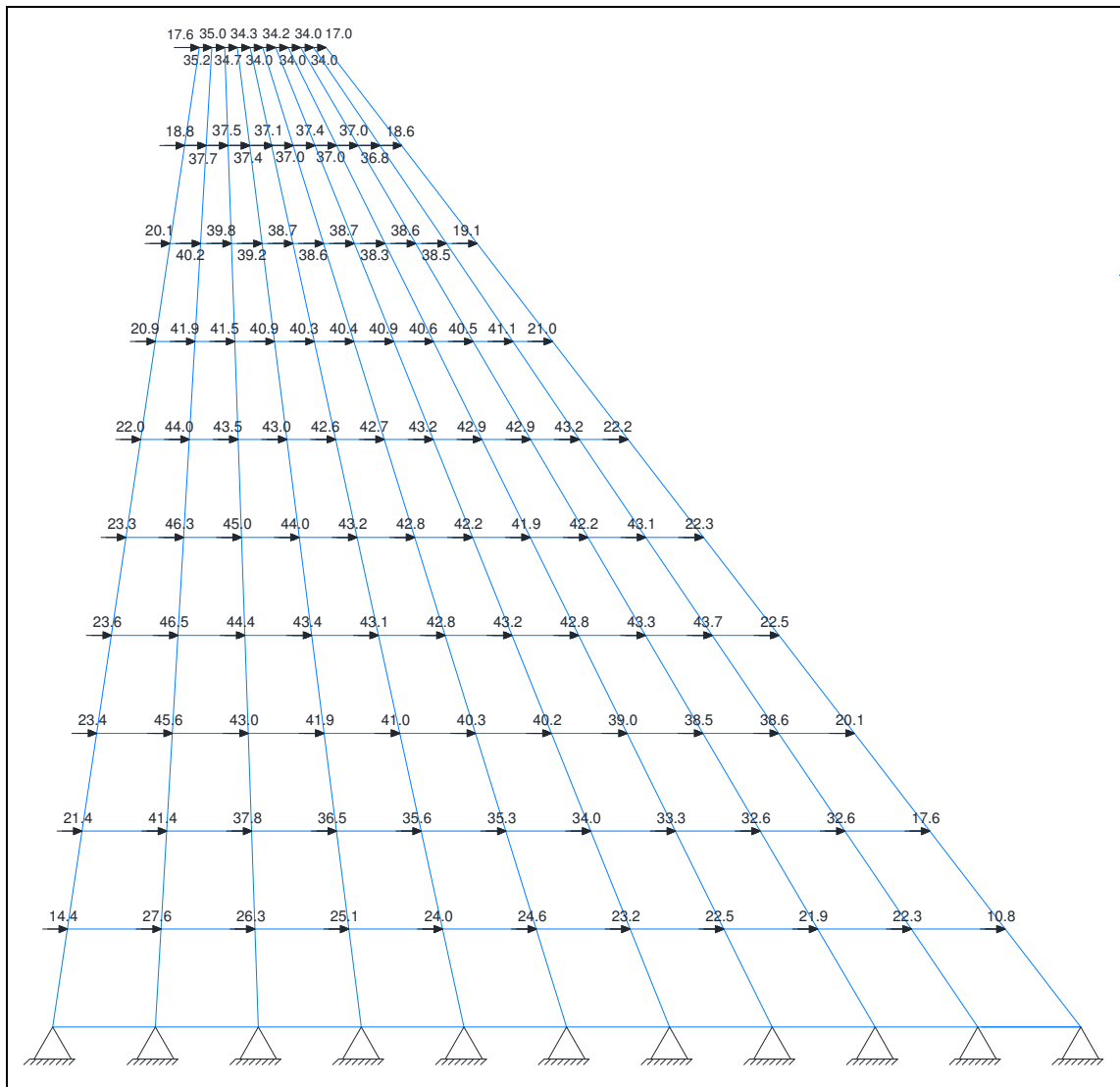
Se realizó un análisis sísmico modal espectral empleando el espectro inelástico indicado en la figura 12, utilizando los programas de **CEINCI-LAB** para Presas. Aguiar (2010,2). Los resultados a nivel de fuerzas estáticas equivalentes en cada uno de los nodos se indican en la figura 14.

De acuerdo al modelo considerado, la estructura tiene 110 modos de vibración, se trabajó con todos los modos. Los períodos de vibración para los cinco primeros modos se indican en la tabla 2.

La suma de las fuerzas horizontales, reporta el Cortante Basal  $V = 3836.1 T$ . El Peso total de la Presa (en la sección analizada de un metro de espesor) vale  $W = 6733.2 T$ . Por lo tanto el coeficiente sísmico que se ha denominado  $\alpha$  (ecuación 12) resulta  $\alpha = 0.57$

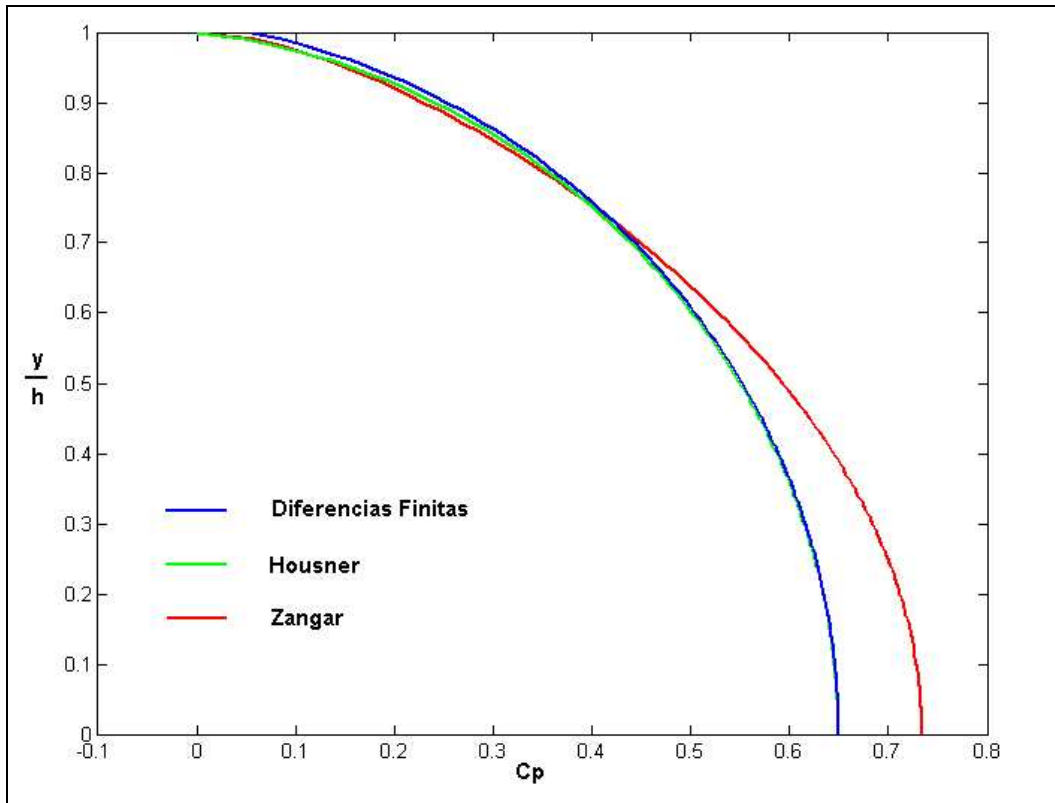
**Tabla 2** Períodos de vibración en los cinco primeros modos.

| Modo 1     | Modo 2     | Modo 3     | Modo 4     | Modo 5     |
|------------|------------|------------|------------|------------|
| 0.172 seg. | 0.074 seg. | 0.042 seg. | 0.032 seg. | 0.031 seg. |

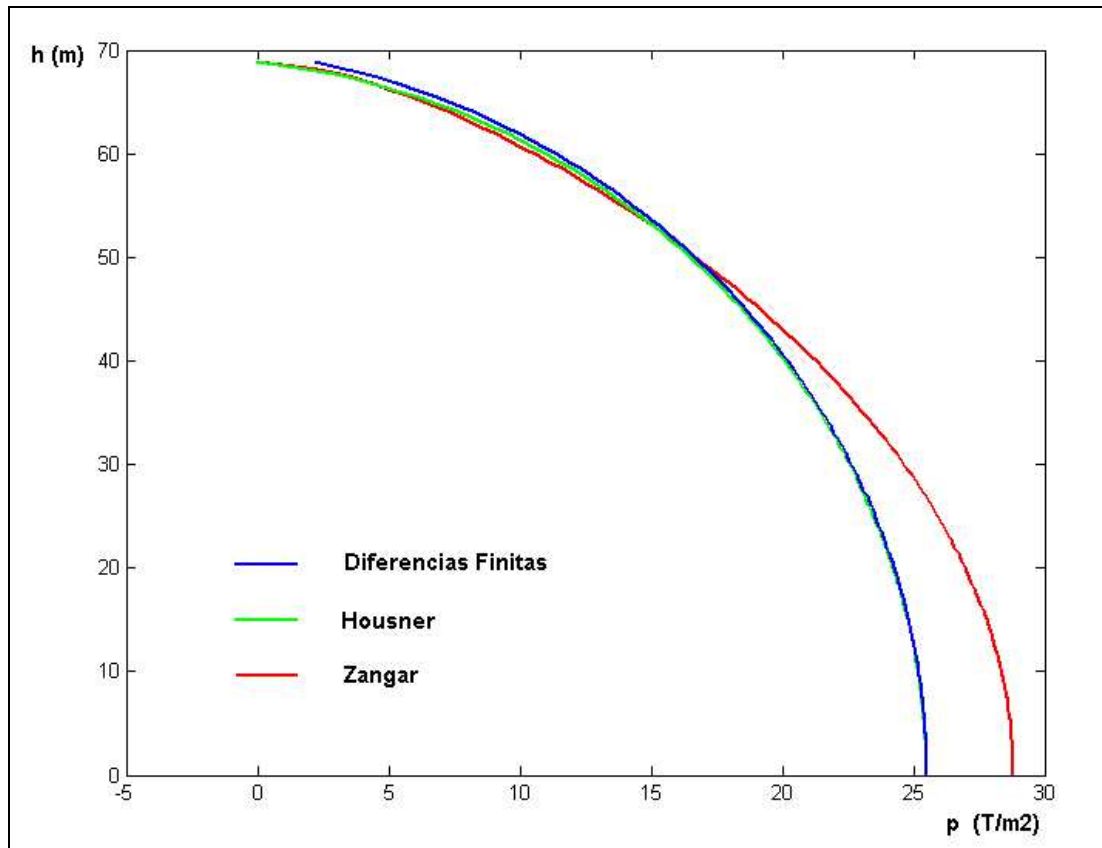


**Figura 14** Fuerzas estáticas equivalentes debidas a sismo.

En base al coeficiente sísmico  $\alpha = 0.57$  se halló el coeficiente de la Presión Hidrodinámica  $C_p$  y la presión hidrodinámica  $p$ , en la Presa Minas-La Unión Pitahuiña, aplicando el Método de Zangar, el de Housner resolviendo en forma exacta la ecuación diferencial y resolviendo con diferencias finitas. Los resultados se muestran en las figuras 15 y 16 respectivamente.



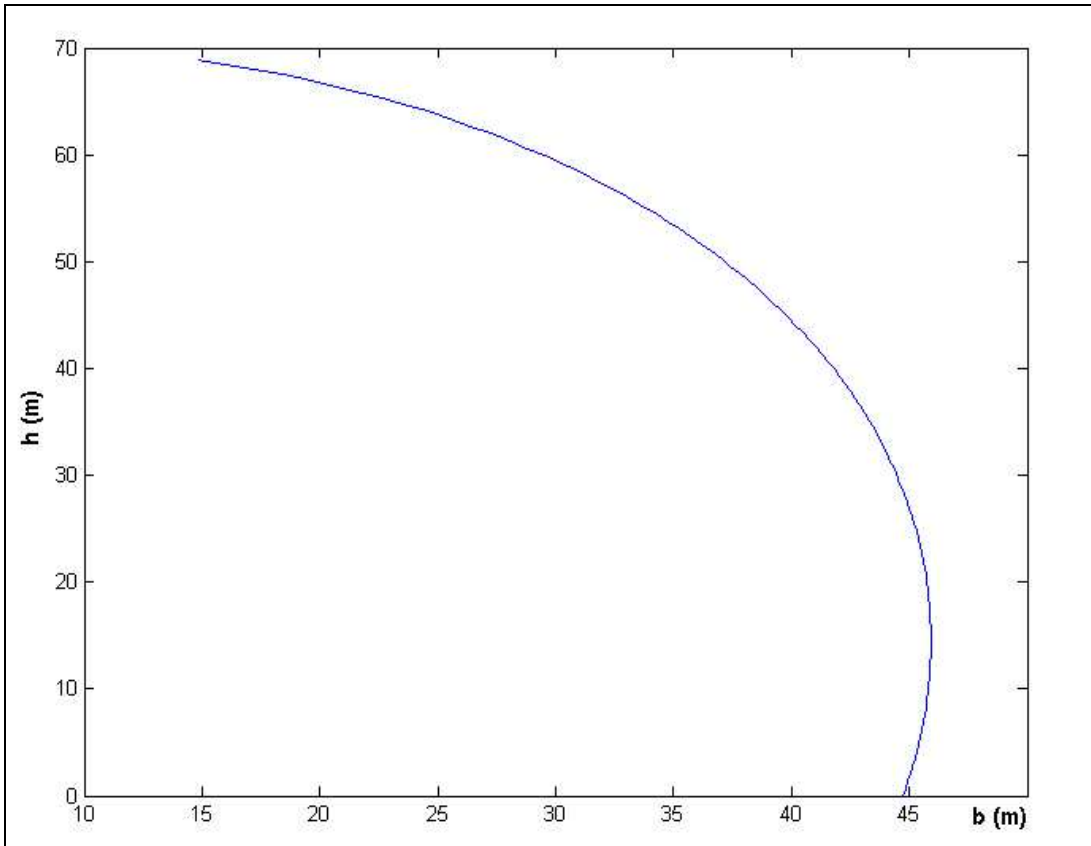
**Figura 15** Coeficiente  $C_p$  encontrado con tres métodos en la Presa Minas-La Unión-Pitahuíña.



**Figura 16** Presión hidrodinámica encontrada con tres métodos en la Presa Minas-La Unión-Pitahuña.

Con relación al coeficiente  $C_p$  se puede decir que el Método de Zangar, reporta valores mayores para valores  $y/h < 0.6$ , en el fondo de la presa. Los valores de  $C_p$  hallados a partir del Método de Housner, solución analítica y solución mediante diferencias finitas, reportan valores similares.

El comportamiento de la variación de las presiones hidrodinámicas es similar al comportamiento de la variación de  $C_p$ . Lo interesante es notar que en el fondo la presión hidrodinámica es menor a las 30 T./m<sup>2</sup>. La presión hidrostática en el fondo es de 68.88 T./m<sup>2</sup>. Es decir es más crítica la Presión Hidrostática que la Presión Hidrodinámica, para la Presa analizada. Esto se debe a la peligrosidad sísmica. Si la presa estaría ubicada en otro lugar, con mayor peligrosidad sísmica, es probable que las dos presiones sean más parecidas.



**Figura 17** Ancho de agua que influye en el cálculo de la Presión Hidrodinámica.

En la figura 17 se presenta la franja  $b(y)$  que aporta al cálculo de la Presión Hidrodinámica de la Presa Minas-La Unión-Pitahuíña. Como era de esperarse en la parte superior el ancho de la franja es pequeña y en el fondo es mayor. Si se desea considerar un ancho constante se puede pensar que este ancho es  $b = 0.6 h$ . Siendo  $h$  la altura de la Presa, para el presente caso estaría alrededor de los 42 m.

## 5. COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

Se han presentado dos modelos clásicos para el cálculo de las presiones hidrodinámicas, el uno propuesto por Zangar mediante una analogía de redes eléctricas y el otro propuesto por Housner en base a los momentos que se genera por el movimiento del agua durante un sismo.

La solución analítica propuesta por Housner es bastante complicada de ahí que se decidió resolver la ecuación diferencial que gobierna el modelo de Housner, empleando Diferencias Finitas encontrando una solución extremadamente sencilla. Para ver la bondad de la solución, se obtuvo el coeficiente de la presión hidrodinámica para presas con diferentes ángulos de inclinación del borde la presa en contacto con el agua, encontrando resultados muy parecidos a los que se hallan con la solución analítica y estos a su vez son parecidos a los que se hallan con el modelo de Zangar.

Se obtuvo una ecuación para encontrar la fuerza vertical total debida a la presión hidrodinámica, la misma que está en función de un coeficiente  $C_y$  y se encontró una curva que relaciona este coeficiente con el ángulo de inclinación  $\theta$  de la presa. Pero además se graficó también el coeficiente  $C_x$  con el cual se obtiene la fuerza total horizontal; el coeficiente  $C_n$  con

el que se halla la fuerza normal a la presa y el coeficiente  $C_{p0}$  que se halla con los valores máximos de  $C_p$ . Se graficó estos cuatro coeficientes para valores de  $0 \leq \theta \leq 90$ . Lo importante de este estudio fue encontrar que el valor de  $C_n$  es aproximadamente 0.5 para cualquier ángulo de inclinación de la presa, este resultado facilita el cálculo rápido de las presiones hidrodinámicas de una presa con cualquier ángulo de inclinación.

Finalmente, se realizó un análisis sísmico, mediante elementos finitos, de la Presa Minas-La Unión-Pitahuiña, para un espectro inelástico que está asociado a un período de retorno de 970 años y se encontró el coeficiente sísmico; con este valor se realizó el cálculo de la Presión Hidrodinámica en la mencionada presa con los dos modelos, encontrando valores de las presiones muy similares. Además se halló el ancho de la franja de agua que influye en el cálculo de las presiones.

## REFERENCIAS

1. Aguiar R., (1991), *Diferencias Finitas*, Quinto Curso Nacional de Estructuras. Nivel de Post Grado, Escuela Politécnica del Ejército, Capítulo II, 8-17, Quito.
2. Aguiar R., (2010,1), "Estudio de Peligrosidad sísmica y espectro de diseño de la Presa: Minas-La Unión-Pitahuiña", ASTEC, 32 p., Quito.
3. Aguiar R., (2010,2), "Estudio de Peligrosidad y Análisis Sísmico de Presa de Proyecto Hidroeléctrico Minas-La Unión-Pitahuiña", *Congreso Internacional Gestión de Riesgos, Ambiente y Energías Renovables. Colegio de Ingenieros Geólogos, Minas y Petróleos*, 18 p., Quito.
4. Aguiar R., (2010,3), *Análisis Sísmico de Puentes con CEINCI-LAB*, Segundo Encuentro Académico de Puentes Siglo XXI. Escuela Politécnica del Ejército, 60 p., Quito.
5. Aguiar R., Tarambis J. P., (2010), "Introducción a la interacción fluido estructura en el análisis sísmico de la Presa Chontal", *VI Congreso de Ciencia y Tecnología. ESPE 2011*, 16 p., Quito.
6. Chwang A., and Housner G., (1978), "Hydrodynamic pressures on sloping dams Turing earthquakes. Part 1. Momentum method", *Journal Fluid. Mechanics*, **87 (2)**, 335-341, Gret Britain.
7. Zangar C. N., (1952), "Hydrodynamic pressures on dams due to horizontal earthquake", *Engineering Monographs* **11**, United States Department of the Interior Bureau of Reclamation, Colorado.



# Determinación de la Deformación Última en Hormigón Confinado Usando un Modelo Probabilístico Basado en Correcciones Bayesianas

Pablo Caiza

University of Illinois at Urbana Champaign

## RESUMEN

Este trabajo trata sobre el desarrollo de un modelo probabilístico para la estimación de la deformación última en elementos estructurales de hormigón armado caracterizados por un buen confinamiento provisto por estribos o espirales y sujetos a fuerzas axiales constantes y momentos que varían cíclicamente. El modelo probabilístico es bayesiano y fue propuesto por primera vez por Gardoni et al (2002).

## ABSTRACT

This paper aims to develop a probabilistic model for confined concrete ultimate strain estimation in RC columns subjected to constant axial force and cyclic varying moment. The probabilistic model uses Bayesian updating and was first proposed by Gardoni et al (2002).

## 1. INTRODUCCIÓN

Inicialmente se presenta brevemente el fundamento teórico de la metodología bayesiana. Luego se aplica a la estimación de la deformación última en hormigones confinados. Tres elementos son esenciales para una aplicación exitosa de la metodología propuesta: una base de datos experimental bien documentada, que de flexibilidad en su manejo; luego, un modelo determinístico inicial bien desarrollado; y finalmente, pero no menos importante, un conjunto amplio de parámetros para explorar la corrección de sesgos estadísticos. En este afortunado trabajo la base de datos es la desarrollada por el Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER) para columnas sujetas a cargas cíclicas, el modelo determinístico está basado en el trabajo de Priestley et al. (1996), y las diferentes funciones explicativas para la corrección de sesgos se obtuvieron de consideraciones teóricas sobre balance de energía. Es importante notar que las deformaciones últimas en hormigón confinado no fueron observadas directamente, y que por lo tanto, un proceso analítico basado en análisis de secciones divididas en fibras fue necesario para derivarlas de otras medidas, éstas sí observadas. Lo anterior constituye la más importante debilidad de la metodología expuesta. Los resultados incluyen diferentes modelos o alternativas para la corrección de sesgos y recomendaciones basadas en el análisis de los parámetros estadísticos de cada alternativa.

## 2. METODOLOGÍA DE CORRECCIÓN BAYESIANA

La metodología de corrección bayesiana que se usa en este trabajo fue originalmente propuesta por Gardoni et al. (2002). La ecuación que se resuelve es:

$$C(\mathbf{X}, \boldsymbol{\Theta}) = c_d(\mathbf{X}) + \gamma(\mathbf{X}, \boldsymbol{\Theta}) + \sigma\epsilon \quad (1)$$

donde  $C(\mathbf{X}, \Theta)$  es la deformación última del hormigón confinado que se está prediciendo,  $\mathbf{X}$  es el vector de datos de los experimentos iniciales (por ejemplo:  $f_c, f_y, d$ ),  $\Theta(\theta, \sigma)$  denota un conjunto de parámetros  $\theta$  introducidos para hacer coincidir el modelo a los resultados de las pruebas experimentales,  $c_d(\mathbf{X})$  es el valor calculado usando el modelo determinístico inicial,  $\gamma(\mathbf{X}, \theta)$  es el término de corrección de sesgos,  $\varepsilon$  es una variable estadística, randómica normal, con media cero y desviación estándar unitaria, y finalmente  $\sigma$  representa la magnitud del error del modelo después de la corrección de los sesgos.

La importancia de los términos  $\sigma$  y  $\varepsilon$  se observa asumiendo que el término de corrección de sesgos es constante ( $\gamma(\mathbf{X}, \theta) = cte = \theta$ ). En este caso la medida de error  $C_i - c_d$  es una variable randómica normal cuya media (sesgo) y desviación estándar (dispersión) son las medias “posteriores” de  $\sigma$  y  $\varepsilon$ .

El modelo probabilístico se basa en encontrar  $\Theta(\theta, \sigma)$  de forma que  $C(\mathbf{X}, \Theta)$  coincida con los resultados experimentales.

Supóngase  $p(\Theta)$  es la función de densidad probabilística conjunta de una distribución “a priori”, la cual usualmente se basa en teorías mecánicas o en opiniones de expertos. La aproximación bayesiana corrige esta distribución inicial “a priori” a una distribución “posterior”  $f(\Theta)$  basándose en resultados experimentales:

$$f(\Theta) = \kappa L(\Theta) p(\Theta) \quad (2)$$

Donde  $L(\Theta)$  representa la “viabilidad” de los resultados experimentales y  $\kappa = \left[ \int L(\Theta) p(\Theta) d\Theta \right]^{-1}$  es un factor normalizador.

Las medias de  $f(\Theta)$ , es decir,  $M_\Theta = \int \Theta f(\Theta) d\Theta = [\mu_{\theta_1}, \dots, \mu_{\theta_n}, \mu_\sigma]^T$  son consideradas los parámetros que mejor ajustan  $f(\Theta)$ . La solución de las integrales múltiples involucradas en esta metodología ( $\kappa, M_\Theta, \text{covariance matrix}$ ) es obtenida a través de un método de muestreo de importancia empleando la función de densidad del muestreo centrada en el punto de máxima posibilidad (Song et al., 2007).

La función  $L(\Theta)$ , en este trabajo, está basada en observaciones en el instante de falla y tiene la siguiente forma:

$$L(\Theta) \propto \prod_{i=1}^{i=\#data} \left\{ \frac{1}{\sigma} \varphi \left[ \frac{C_i - c_d(\mathbf{X}_i) - \gamma(\mathbf{X}_i, \theta)}{\sigma} \right] \right\} \quad (3)$$

Donde  $\varphi(\cdot)$  denota la función de densidad de probabilidades de la distribución normal estándar.

Dado que la forma verdadera de la función de corrección de sesgos  $\gamma(\mathbf{X}, \theta)$  es desconocida,  $p$  funciones “explicativas”  $h_i(\mathbf{X})$ ,  $i = 1, \dots, p$  pueden ser usadas como se ve en la siguiente expresión:

$$\gamma(\mathbf{X}, \theta) = \sum_{i=1}^p \theta_i h_i(\mathbf{X}) \quad (4)$$

Aplicando logaritmos naturales para satisfacer la “homoskedasticity” supuesta, es decir que todas las variables randómicas tienen la misma varianza, el modelo probabilístico tiene la siguiente forma:

$$\ln[C(\mathbf{X}, \Theta)] = \ln[c_d(\mathbf{X})] + \sum_{i=1}^p \theta_i h_i(\mathbf{X}) + \sigma \varepsilon \quad (5)$$

De aquí que la mejor estimación se obtiene como:

$$C(\mathbf{X}) = c_d(\mathbf{X}) * \exp\left[\sum_{i=1}^p \mu_{\theta_i} h_i(\mathbf{X})\right] * \exp(\mu_{\sigma} \varepsilon) = \tilde{c}_d(\mathbf{X}) * \exp(\mu_{\sigma} \varepsilon) \quad (6)$$

Se observa que la variable  $\varepsilon$  es la única variable randómica en el modelo. Por lo tanto  $C(\mathbf{X})$  sigue la distribución lognormal mientras que su media y c.o.v. son calculados como  $\tilde{c}_d(\mathbf{X}) * \exp(\mu_{\sigma}^2 / 2)$  y  $[\exp(\mu_{\sigma}^2) - 1]^{0.5}$  respectivamente.

Nótese también que los términos explicativos  $h_i(\mathbf{X})$  pueden ser expresados como  $h_i(\mathbf{X}) = \ln[h_i^*(\mathbf{X})]$ .

De esta forma y si  $\mu_{\sigma} \ll 1$ :

$$C(\mathbf{X}) = c_d(\mathbf{X}) * \prod_{i=1}^p h_i^*(\mathbf{X})^{\mu_{\theta_i}} \quad (7)$$

Los valores de  $C(\mathbf{X})$  obtenidos a través de esta metodología tienen sesgos y dispersiones significativamente reducidos respecto a otras metodologías (Song et al. 2007).

### 3. APLICACIÓN

La metodología probabilística explicada en párrafos anteriores es aplicada para estimar la deformación última de hormigón confinado sujeto a carga axial constante y momentos de flexión variables. Esta deformación es importante porque puede ser usada para definir límites estructurales tales como “daño moderado” y “prevención de colapso”, fundamentales en el diseño basado en rendimiento.

#### 3.1 Modelo Determinístico

La deformación última del hormigón confinado puede ser relacionada a la primera ruptura de una espiral (Mander et al., 1988) y puede ser calculada, en el caso de compresión pura, por la siguiente ecuación (Priestley et al., 1998):

$$\varepsilon_{cu} = \varepsilon_u + \frac{1.4 \rho_t f_y \varepsilon_{sf}}{f_c''} \quad (8)$$

Donde  $\varepsilon_u$  es la deformación última en hormigón no confinado;  $\rho_t$  cuantía de refuerzo transversal,  $f_y$  esfuerzo de cedencia del acero,  $\varepsilon_{sf}$  deformación del acero a la ruptura y  $f_c''$  esfuerzo a compresión del hormigón confinado.

Usando principios de balance de energía (Fantilli, 2005), una ecuación similar puede ser obtenida para el caso de carga axial constante y momento flexural variable:

$$\varepsilon_{cu} = \varepsilon_u + \frac{\text{factor } \rho_t f_y \varepsilon_{sf}}{f_c''} \quad (9)$$

Los parámetros que aparecen tanto en la ecuación (8) y en la (9) son llamados en este trabajo “viejos” y su influencia en el modelo probabilístico estimada cuidadosamente. El término “factor” representa “nuevas” variables las cuales en realidad están relacionadas a la tasa área comprimida vs. área confinada. Esta tasa está directamente relacionada a la profundidad de la zona comprimida y últimamente al tipo de carga.

### 3.2 Base de datos experimental

La base de datos experimental es la PEER estructural Performance Database. Esta base de datos no tiene deformaciones últimas directamente observadas, afortunadamente sus datos de fuerzas están relacionados a estados de daño estructural y entre ellos al de fractura del refuerzo transversal en espiral. De aquí que un análisis seccional basado en la división de la sección en fibras fue necesario para obtener una relación entre la fuerza y la deformación última del hormigón confinado en el momento de la ruptura del refuerzo transversal en espiral. Con la intención de facilitar el análisis de los momentos producidos por las fuerzas, únicamente configuraciones experimentales en cantiliver fueron tomadas en cuenta. Sin embargo el modelo de fibras usado no considera la interacción corte-flexión. Lo anterior redujo el número de ensayos, aplicables al modelo desarrollado aquí, a tan solo 33 como se observa en la Tabla 1.

**Tabla 1** Criterios de búsqueda y número de registros

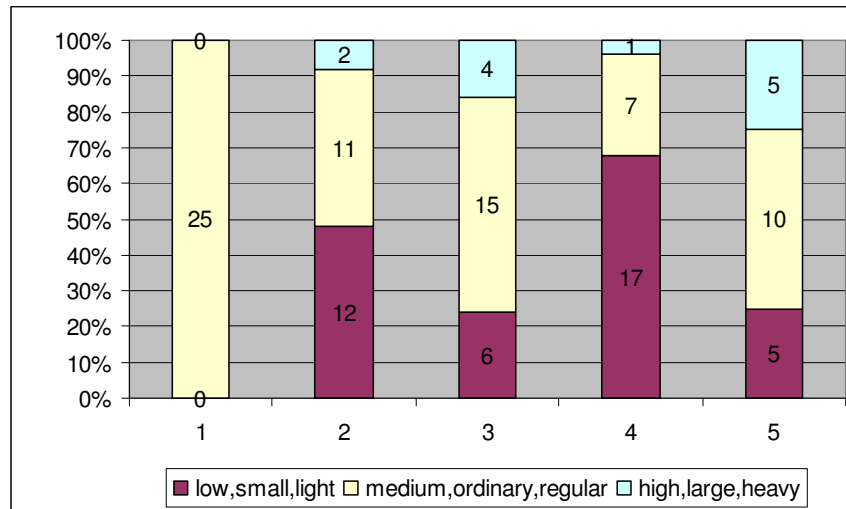
| <b>PEER STRUCTURAL PERFORMANCE DATABASE</b> |                    |                           |                           |                     |
|---|--------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------|
| <b>Alternative</b>                          | <b>Column Type</b> | <b>Test Configuration</b> | <b>Damage Observation</b> | <b># of records</b> |
| <b>A</b>                                    | all                | all                       | all                       | 416                 |
| <b>B</b>                                    | Spiral             | all                       | all                       | 163                 |
| <b>C</b>                                    | Spiral             | Cantilever                | all                       | 83                  |
| <b>D</b>                                    | Spiral             | Cantilever                | Spiral fracture           | 33                  |

Otras limitaciones tales como el uso de hormigón de peso normal redujo finalmente esta base de datos a 25 registros.

Finalmente una revisión cuidadosa de los parámetros usados en estos registros fue llevada a cabo. Esta revisión reveló las características mostradas en la Tabla 2 y en la Figura 1.

**Tabla 2** Rangos de parámetros y número de registros en cada rango

|                             | <b>low</b>   | <b>medium</b>   | <b>high</b>  |
|-----------------------------|--------------|-----------------|--------------|
| <b>1. f'c [ksi]</b>         | 1.5-3.0ksi   | 3.0-10.0ksi     | 10.0-17.4ksi |
|                             | # = 0        | # = 25          | # = 0        |
| <b>2. D [in]</b>            | <b>small</b> | <b>ordinary</b> | <b>large</b> |
|                             | 4-12in       | 12-35in         | 35- in       |
| <b>3. ρl [%]</b>            | <b>light</b> | <b>moderate</b> | <b>heavy</b> |
|                             | 0.1-1%       | 1-2%            | 2-7%         |
| <b>4. N/(Acc*f''cc) [%]</b> | <b>light</b> | <b>regular</b>  | <b>heavy</b> |
|                             | 0-10%        | 10-25%          | 25- %        |
| <b>5. pt [%]</b>            | <b>light</b> | <b>moderate</b> | <b>heavy</b> |
|                             | 0.1-0.5%     | 0.5-1%          | 1-2%         |
|                             | 5            | 15              | 5            |



**Figura 1** Número de registros dentro de cada rango de los parámetros

Cada columna en la Figura 1 corresponde al parámetro descrito en la Tabla 2. Este análisis evidencia limitaciones en los registros, como por ejemplo: de la columna 1 en la Figura 1, la resistencia del hormigón está limitada a tan solo valores medios.

### 3.3 Funciones explicativas

Dos grupos de funciones explicativas, “viejas” y “nuevas”, fueron definidas como se observa en la Tabla 3.

**Tabla 3** Funciones explicativas

|        |                        |  |
|--------|------------------------|--|
| Viejas | $\ln(\rho_t)$          | Cuantía de refuerzo transversal  |
|        | $\ln(f_y / f_c)$       | Tasa esfuerzo de cedencia del acero a esfuerzo máximo del hormigón confinado |
|        | $\ln(\epsilon)$        | Deformación a la ruptura del refuerzo transversal                            |
| Nuevas | $\ln[N / (Acc * f_c)]$ | Tasa de carga axial  |
|        | $\ln(\rho_l)$          | Cuantía de refuerzo longitudinal   |
|        | $\ln(cover / R)$       | Tasa hormigón no confinado/confinado   |

Las funciones “viejas” son aquellas usadas en el modelo determinístico y servirán para chequear su validez. Las funciones “nuevas” por otro lado ayudarán a estimar la importancia del tipo de carga en la deformación última del hormigón confinado.

### 3.4 Alternativas de análisis

Se consideró que las funciones explicativas “nuevas” eran las más importantes. Por lo tanto se usaron desde un principio. Sin embargo el impacto de las funciones “viejas” también fue explorado, pero considerándolas una por una. Luego un proceso de “eliminación y prueba” fue seguido para encontrar las funciones más importantes de entre las denominadas “nuevas”.

Una alternativa adicional consistió en el uso de las funciones “nuevas” más importantes pero incluyendo un término constante para tomar en cuenta cualquier parámetro no incluido, y finalmente, por propósitos de comparación, la última alternativa asumió un sesgo constante.

Las alternativas descritas en párrafos anteriores se resumen en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Diferentes alternativas para estimar el impacto de las funciones explicativas

| EXPLANATORY FUNCTIONS |                   |        |             |             |        |            |     |
|-----------------------|-------------------|--------|-------------|-------------|--------|------------|-----|
| Alt.                  | ln[N/(Acc*f''cc)] | ln(pl) | ln(cover/R) | ln(fy/f'cc) | ln(pt) | ln(εs max) | ln2 |
| 1                     | X                 | X      | X           | X           |        |            |     |
| 2                     | X                 | X      | X           |             | X      |            |     |
| 3                     | X                 | X      | X           |             |        | X          |     |
| 4                     | X                 | X      | X           |             |        |            |     |
| 5                     | X                 | X      |             |             |        |            |     |
| 6                     | X                 |        |             |             |        |            |     |
| 7                     | X                 |        |             |             |        |            | X   |
| 8                     |                   |        |             |             |        |            | X   |

#### 4. RESULTADOS

La Tabla 5 muestra las alternativas exploradas, la media y covarianza para cada función explicativa, y la covarianza del modelo.

**Tabla 5** Media y coeficiente de variación de cada función explicativa y coeficiente de variación de cada alternativa

| EXPLANATORY FUNCTIONS |        |                   |        |             |             |         |            |         |        |
|-----------------------|--------|-------------------|--------|-------------|-------------|---------|------------|---------|--------|
| Alternative           |        | ln[N/(Acc*f''cc)] | ln(pl) | ln(cover/R) | ln(fy/f'cc) | ln(pt)  | ln(εs max) | ln2     | c.o.v. |
| 1                     | mean   | -0.3309           | 0.3767 | -0.686      | -0.2057     |         |            |         | 0.3066 |
|                       | c.o.v. | -0.5614           | 0.5236 | -0.9043     | -1.8922     |         |            |         |        |
| 2                     | mean   | -0.3952           | 0.4484 | -0.3929     |             | -0.0771 |            |         | 0.3061 |
|                       | c.o.v. | -0.5144           | 0.5472 | -0.9559     |             | -1.5921 |            |         |        |
| 3                     | mean   | -0.3207           | 0.3499 | -0.6978     |             |         | 0.3118     |         | 0.3086 |
|                       | c.o.v. | -0.6012           | 0.5105 | -0.8198     |             |         | 1.5376     |         |        |
| 4                     | mean   | -0.3527           | 0.3462 | -0.4211     |             |         |            |         | 0.298  |
|                       | c.o.v. | -0.5089           | 0.4919 | -0.8578     |             |         |            |         |        |
| 5                     | mean   | -0.4964           | 0.1756 |             |             |         |            |         | 0.3068 |
|                       | c.o.v. | -0.2774           | 0.4667 |             |             |         |            |         |        |
| 6                     | mean   | -0.197            |        |             |             |         |            |         | 0.3054 |
|                       | c.o.v. | -0.0845           |        |             |             |         |            |         |        |
| 7                     | mean   | -0.404            |        |             |             |         |            | -0.7082 | 0.3229 |
|                       | c.o.v. | -0.408            |        |             |             |         |            | -0.8582 |        |
| 8                     | mean   |                   |        |             |             |         |            | 0.6908  | 0.352  |
|                       | c.o.v. |                   |        |             |             |         |            | 0.352   |        |

En primer lugar se observa que todos estos análisis tienen un c.o.v. similar de alrededor de 0.3.

En las alternativas 1, 2 y 3 las funciones explicativas “viejas” tienen también los más altos c.o.v. y por lo tanto se eliminan.

Las alternativas 4, 5 y 6 son los pasos que llevan a mostrar que la función explicativa más importante es la tasa de carga axial.

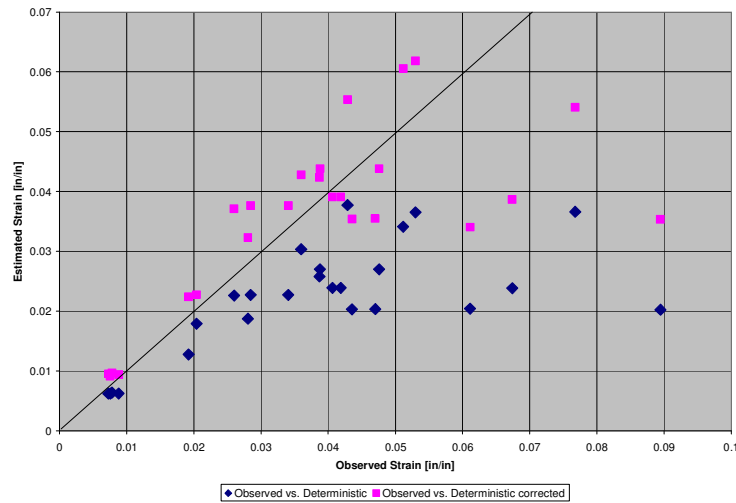
La alternativa 7 muestra que cualquier otro parámetro no considerado no es realmente importante ya que la función constante, que los representa, tiene también el más alto c.o.v. y puede por tanto ser eliminada.

La alternativa 8 tiene un c.o.v. de 0.352 el cual es 15% más alto que el c.o.v. de la alternativa 6.

Por lo tanto la alternativa 6 puede ser considerada la mejor:

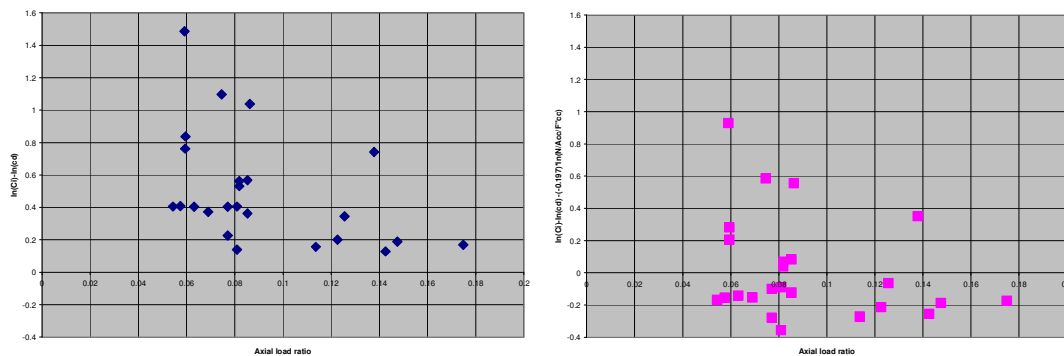
$$\mathcal{E}_{cu\ predicted} = \mathcal{E}_{cu\ "Priestley"} * \left( \frac{N}{A_{cc} f''_{cc}} \right)^{-0.197} \quad (10)$$

La Figura 2 muestra las deformaciones últimas observadas y predichas. Aquí “predichas” se refiere en primer lugar al valor usando la ecuación determinística de Priestley et al. y luego usando la aproximación bayesiana.



**Figura 2** Deformación última del hormigón confinado Observado vs. Estimado

Una comparación de los errores antes y después de la corrección del sesgo se puede hacer usando la Figura 3. Se observa que los errores están alrededor del valor cero.



a)

b)

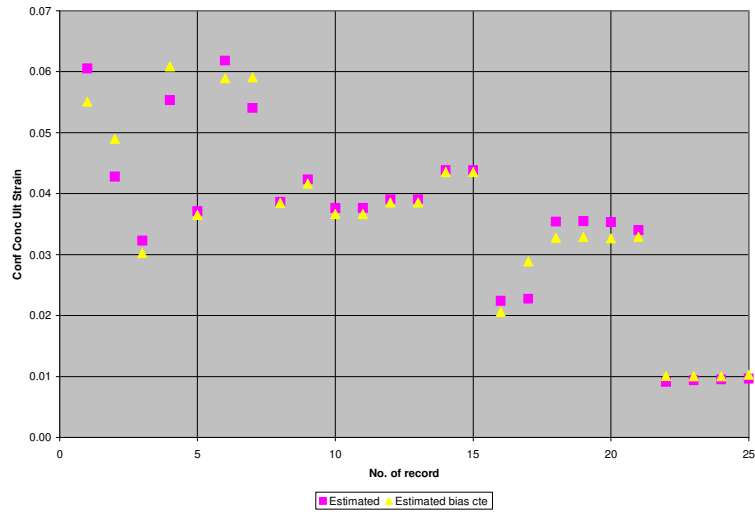
**Figura 3** a) Error antes de la corrección por sesgo; b) Error después de la corrección por sesgo

Adicionalmente la Figura 4 muestra la comparación entre la deformación última del hormigón confinado usando la función explicativa relacionada con la tasa de carga axial y aquella representando sesgo constante.

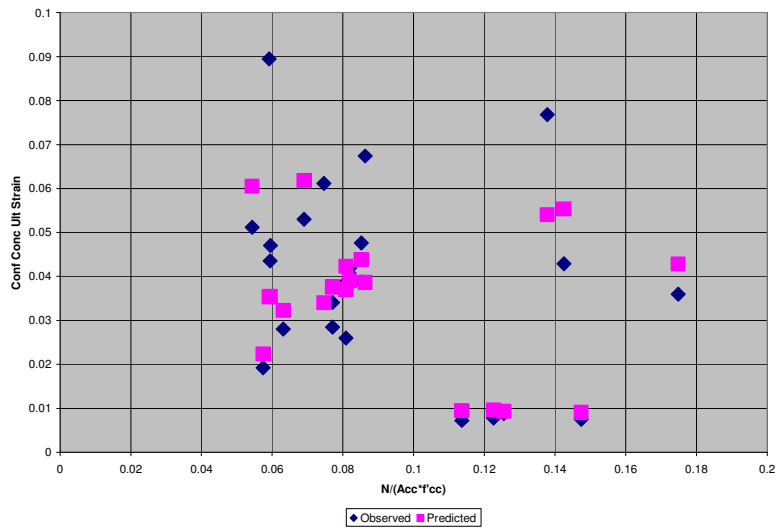
Las diferencias entre las alternativas 6 y 8 son en promedio del 15%.

Finalmente la Figura 5 muestra una comparación entre la tasa de carga axial y la deformación última del hormigón confinado observado/predicho.

Se observa que los resultados experimentales tienen variaciones muy grandes y que el modelo probabilístico tiende a obtener valores entre esos extremos. Se puede indicar que el modelo analítico se basa en la idea de que los resultados experimentales, si se corrigen sus deficiencias de medición y precisión, tenderán a valores intermedios.



**Figura 4** Deformación última del hormigón confinado usando alt. 6 y alt. 8



**Figura 5** Tasa de carga axial y deformación última del hormigón confinado observado/predicho

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el análisis probabilístico basado en la metodología de corrección bayesiana para estimar la deformación última del hormigón confinado bajo carga axial constante y momento flexural variable las siguientes características fueron identificadas:

- El c.o.v. de los diferentes modelos (“alternativas”) explorados es relativamente alto, lo que indicaría limitaciones en por ejemplo el manejo de la base de datos o en el modelo de fibras empleado para calcular las deformaciones últimas “observadas”.
- El modelo determinístico de Priestley et al. da un buen punto inicial para estimar cambios adicionales usando modelos probabilísticos.
- La corrección del sesgo en el modelo bayesiano usado muestra un 15% de mejora comparado con un modelo que asuma un sesgo constante.
- La deformación última del hormigón confinado, aparte de los parámetros usados en la ecuación de Priestley et al., depende básicamente de la tasa de carga axial.



Los resultados obtenidos pueden ser mejorados en muchas formas. Por ejemplo la base de datos debe ser ampliada y sus registros analizados cuidadosamente para fijar imprecisiones indeseables en el uso de sus parámetros. En general, sin embargo, la metodología propuesta, permite estimar la deformación última del hormigón confinado de una manera más precisa, lo que redundará en mejores estimaciones de daño estructural y por tanto en mejores diseños por desempeño estructural.

## REFERENCIAS

1. Berry Michael, Parrish Myles, Eberhard Marc, "PEER Structural Performance Database User's Manual (Version 1.0)", University of California, Berkeley, January 2004.
2. Fantilli A.P., Ferretti D., Iori I., and Vallini P., "Mechanical model for failure of compressive concrete in reinforced concrete beams", Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 128, No.5, pp 637-645, 2002.
3. Melchers Robert, "Structural Reliability Analysis and Prediction", second edition, Wiley, 2002.
4. Priestley, Seible, Calvi, "Seismic Design and Retrofit of Bridges", Wiley-Interscience, 1996.
5. Song Junho, Kang Wong-Hee, Kim Kang Su and Jung Sungmoon, "Probabilistic Shear Strength Models for Reinforced Concrete Beams without Shear Reinforcement Based on Experimental Observations", University of Illinois, 2007.

# CARACTERIZACIÓN Y ESTUDIO DE LA DIVERSIDAD GENÉTICA DEL PIÑÓN (*Jatropha curcas*) MEDIANTE EL USO DE MARCADORES MOLECULARES

Salinas, N., Armijos V., Jiménez P., & Proaño, K.

Carrera de Ingeniería en Biotecnología  
Escuela Politécnica del Ejército

## RESUMEN

Las consecuencias negativas causadas por la explotación, comercialización y uso de los hidrocarburos han llevado a buscar alternativas en la obtención de energía. Entre las especies oleaginosas se destaca notoriamente el cultivo de *Jatropha curcas* debido al gran porcentaje de aceite que posee en sus semillas, el cual constituye una fuente importante de materia prima en la producción de biodiesel. Es importante por ello identificar el material genético de distintas variedades y desarrollar cultivos genéticamente superiores para lograr eficiencia en la obtención de combustible. Para ello, es indispensable el estudio y registro de la variabilidad genética de piñón. En esta investigación se caracterizó y se estudió la diversidad genética de 18 poblaciones de *Jatropha curcas* en la Provincia de Manabí utilizando marcadores moleculares ISSRs. Se recolectó material vegetal de piñón, se aisló ADN y se amplificó secuencias con 6 marcadores ISSRs. El alto porcentaje de polimorfismo observado (98.8%) sugiere que los marcadores utilizados tienen un poder discriminatorio considerable. De acuerdo a los valores de similaridad resultantes, la semejanza genética del piñón varía ampliamente entre accesiones de distintas procedencias. Además, las poblaciones de piñón de la provincia de Manabí muestran una estructura genética poco definida, mostrando que la variación entre localizaciones geográficas es nula. Estos resultados sugieren la existencia de plantas de interés con potencial genético explotable para fines de mejoramiento en la provincia de Manabí.

Palabras clave: *Jatropha curcas*, ISSR, variabilidad genética.

## ABSTRACT

The negative consequences caused by drilling for oil and using oil products have led society to seek alternatives in the energy production. There are many important oleaginous plants; however nowadays *Jatropha curcas* has become an interesting crop option for biodiesel production due to its high oil yield which is inside its seeds. Also, this species possesses a lot of important agronomic characteristics. In order to achieve efficiency in the biodiesel production it is necessary to identify the genetic material of different crop areas and to develop genetically superior varieties. Before getting this, it is indispensable to study and to record the genetic variability of this species, which plays a fundamental role in plant improvement programs. In the current study, the genetic variability of 18 populations of *Jatropha curcas* in Manabí was analyzed, using ISSRs molecular markers. Plant material of *Jatropha curcas* L. was collected, DNA was isolated and sequences were amplified using universal ISSRs primers. The percentage of polymorphism was high (98.8%) which shows that the markers used are very useful to discriminate individuals of this species. According to the results obtained, genetic similarity of

*Jatropha curcas* has a broad range of variation depending on where they come from. In addition, the analyzed groups showed a low population structure because the genetic diversity within populations was 100%. Also, no correlation was observed between genetic and geographic distances suggesting that at least one of all populations of *Jatropha curcas* L. is not completely isolated. These results suggest the existence of plants with exploitable genetic potential for breeding purposes in Manabí.

Key words: *Jatropha curcas*, ISSR, genetic variability.

## 1. INTRODUCCIÓN

El alto precio de los hidrocarburos, la disponibilidad limitada de estos recursos y los daños ambientales provocados por su explotación, comercialización y uso, son los principales inconvenientes que resaltan la importancia de buscar alternativas en la obtención de energía renovable y amigable con el ambiente (Andersson, 2006). Actualmente, se considera que la biomasa posee un gran potencial en la obtención de combustibles (Perlack *et al.*, 2005).

Los cultivos de especies oleaginosas son consideradas como la mejor opción para la producción de biodiesel (Sarin *et al.*, 2006). Algunas de las más cultivadas en América son la colza (*Brassica napus*), el girasol (*Helianthus annuus*), la soya (*Glycine max*), la palma aceitera (*Elaeis guineensis*) y el piñón (*Jatropha curcas*). De las cuales, la especie *Jatropha curcas* se destaca notoriamente, teniendo la atención de investigadores, productores y empresarios, debido a sus características fisiológicas, agronómicas, ambientales y de producción (Castro *et al.*, 2007).

La planta *Jatropha curcas*, pertenece a la familia Euphorbiaceae y se cree que es una especie nativa de América, posiblemente de México y Centro América (Heller, 1996; King *et al.*, 2009). Esta planta tropical se la encuentra normalmente a altitudes de 0 a 500 msnm y a temperaturas que van desde los 20 a 36 °C (Achten, *et al.*, 2008). Lamentablemente, no existen registros de la cantidad de sembríos totales de *Jatropha curcas* en el Ecuador, sin embargo el Consejo Provincial de Manabí estima que existen 18 mil hectáreas sembradas con piñón en esta provincia y se estiman plantar otras 23 mil hectáreas en 60 meses (Zambrano, 2008).

El cultivo de *Jatropha curcas*, se ha convertido en una interesante alternativa de producción de biodiesel, no sólo debido al gran rendimiento de aceite a partir de las semillas, sino también a las características propias de esta especie que la hacen aún más llamativa (Heller, 1996). El piñón se adapta a un gran rango de tipos de suelo, puede crecer en tierras áridas, semi-áridas, cascajosas, arenosas, salinas e incluso crecen en tierra pedregosa. Además, los niveles de nutrientes y de agua de los suelos donde crece el piñón suelen ser bajos (Kumar, & Sharma 2006; Achten, 2008; King *et al.*, 2009).

Al ser *Jatropha curcas* un cultivo viable en suelos marginales, permite detener la erosión de los mismos, y debido a que estos terrenos no son utilizados por otros cultivos, *Jatropha curcas* no representa una amenaza para la seguridad alimentaria. Otra de las ventajas que tiene el cultivo de piñón es la producción de frutos desde el primer año. A los cinco años se estabiliza y continúa así durante 25-50 años, produciendo frutos de buena calidad (Kumar, & Sharma 2006).

A más de producir biodiesel, el cultivo de *Jatropha curcas*, puede originar otros subproductos de valor comercial, utilizando de esta forma los desechos y desperdicios que pudieran causar problemas ambientales por acumulación. Sharma, Pandey & Lata (2008) utilizaron los desperdicios resultantes de la extracción de aceite de piñón para producir un compost bioactivo utilizando un consorcio de hongos lignocelulolíticos. Asimismo en otra revisión se discute la utilización del material vegetal restante de la extracción de aceite de piñón comestible no tóxico, para producir alimento de animales con un alto valor proteico (King *et al.*, 2009). Heller (1996) describe algunas de las propiedades medicinales del piñón, pudiendo aprovecharlas en el área farmacéutica. El aceite de piñón tiene acción purgativa y se lo utiliza para enfermedades de la piel y para disminuir el dolor causado por el reumatismo. El látex tiene propiedades antimicrobianas. Asimismo, debido a los compuestos tóxicos que posee el piñón, el extracto de sus hojas es utilizado como un eficaz pesticida en otras especies (Heller, 1966).

Las especies de *Jatropha* tienen una polinización cruzada, lo que permite un alto grado de variación genética, ofreciendo así, amplias posibilidades para analizar y seleccionar características deseadas en los cultivos. La selección es la actividad más importante en los programas de mejoramiento genético de especies (Gohil & Pandya, 2008; Kumar *et al.*, 2008). Debido a que la variabilidad es un prerrequisito en un programa de mejoramiento, es necesario detectar y documentar la variación genética que existe dentro de las poblaciones y entre las poblaciones (Basha & Sujatha, 2007; Ram, *et al.*, 2008).

Las características morfológicas han sido usadas comúnmente para describir la diversidad genética de las especies, sin embargo, estas herramientas no demuestran la relación taxonómica exacta, debido a que los caracteres morfológicos están influenciados por las condiciones ambientales (Kumar *et al.*, 2008). Durante las dos décadas anteriores, el uso de marcadores moleculares ha demostrado ser muy útil para estudiar la diversidad genética de especies, encontrando relaciones taxonómicas muy exactas, además de informar acerca de la historia del flujo de genes (Kumar *et al.*, 2008; Tatikonda *et al.*, 2009).

Los marcadores ISSRs (Inter Simple sequence repeats) han demostrado ser rápidos, simples, reproducibles, poderosos y baratos en el estudio de variabilidad genética y en la identificación de relaciones estrechas entre cultivares de varias especies. Son utilizados ampliamente en aplicaciones de taxonomía molecular, conservación, mejoramiento genético y análisis de diversidad genética. Estos marcadores moleculares son dominantes y proveen alta variabilidad y una alta densidad de mapeo (Kumar *et al.*, 2008).

La caracterización molecular nos permite conocer la situación de ésta planta en el Ecuador, su diversidad y el potencial genético de las poblaciones existentes. Asimismo, en base a este estudio y a futuras investigaciones se podrán identificar a nivel molecular las variedades que presentan características importantes para la industria. De ésta manera, se tendrá un respaldo científico que avale las cualidades observadas en el campo en algunas variedades. Este estudio podrá servir también como punto de partida para un posible mejoramiento de cultivos de *Jatropha curcas*, que impulse su utilización en diversos campos productivos.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Recolección y almacenamiento de muestras

Los individuos analizados provienen de 18 poblaciones de piñón ubicadas en la provincia de Manabí como se muestra en la Tabla 1. Las muestras vegetales se colocaron con sílica gel en sobres de papel debidamente identificados. Las muestras fueron almacenadas a  $-20^{\circ}\text{C}$  para asegurar su buen estado y viabilidad para los siguientes procesos.

**Tabla 1** Localización geográfica de las poblaciones de *Jatropha curcas* analizadas en la Provincia de Manabí

| #  | LOCALIDAD                                    | COORDENADAS UTM<br>(ZONA 17) |        |                   |
|----|--|------------------------------|--------|-------------------|
|    |  | NORTE                        | ESTE   | ALTITUD<br>(msnm) |
| 1  | Muracumbo Pedernarles                        | 12712                        | 611181 | 19                |
| 2  | Muracumbo entre<br>Pedernarles - Esmeraldas  | 14971                        | 607594 | 43                |
| 3  | Pedernales Canoa Km1                         | 6185                         | 604766 | 15                |
| 4  | Pedernales Canoa Km4                         | 4255                         | 603617 | 16                |
| 5  | Canoa Jama                                   | 9951664                      | 560666 | 19                |
| 6  | Pedernales Km 23 - El<br>Carmen - El Achiote | 646                          | 622585 | 134               |
| 7  | Vía El Carmen -<br>Pedernarles Km 8          | 9979024                      | 666112 | 228               |
| 8  | El Carmen Km 81<br>Pedernarles               | 6826                         | 613592 | 107               |
| 9  | Paraíso La 14 - Bramadora                    | 9939039                      | 665261 | 174               |
| 10 | La Crespa - Flavio Alfaro                    | 9962288                      | 634833 | 14                |
| 11 | Ricuarte Flavio Alfaro                       | 9933166                      | 607594 | 43                |
| 12 | Pichincha Quiroga                            | 9891518                      | 616688 | 140               |
| 14 | Olmedo Santa Ana (El<br>Mate)                | 9863869                      | 574718 | 74                |
| 15 | Manta Puerto Cayo                            | 9872874                      | 515343 | 295               |
| 16 | Lodana - 24 de Mayo                          | 9865295                      | 564145 | 90                |
| 17 | Quiroga - Calceta                            | 9902727                      | 599057 | 45                |
| 18 | Quimi La Pila                                | 9868942                      | 546642 | 254               |

### 2.2 Extracción y Cuantificación de ADN

La extracción de ADN fue realizada a partir del material vegetal recolectado siguiendo el protocolo modificado de Khanuja *et al.* (1999). Las soluciones de ADN obtenidas en el proceso de extracción fueron cuantificadas tanto por electroforesis como por fluorometría. En la cuantificación por electroforesis se utilizaron geles de agarosa al 0.8%. En la cuantificación por

fluorimetría se siguió el protocolo propio del kit Quant-iT™ dsDNA BR Assay Kit (Quibit INVITROGEN®).

### **2.3 Amplificación de fragmentos de ADN**

Para la amplificación de fragmentos de ADN se utilizaron 6 primers ISSRs (HB11, HB14, 17899A, 17899B, HB9 y 844A). Los productos de PCR fueron corridos y visualizados en geles de agarosa al 1.5% junto con el marcador molecular TackIt 100bp DNA Ladder INVITROGEN®.

### **2.4 Análisis de datos**

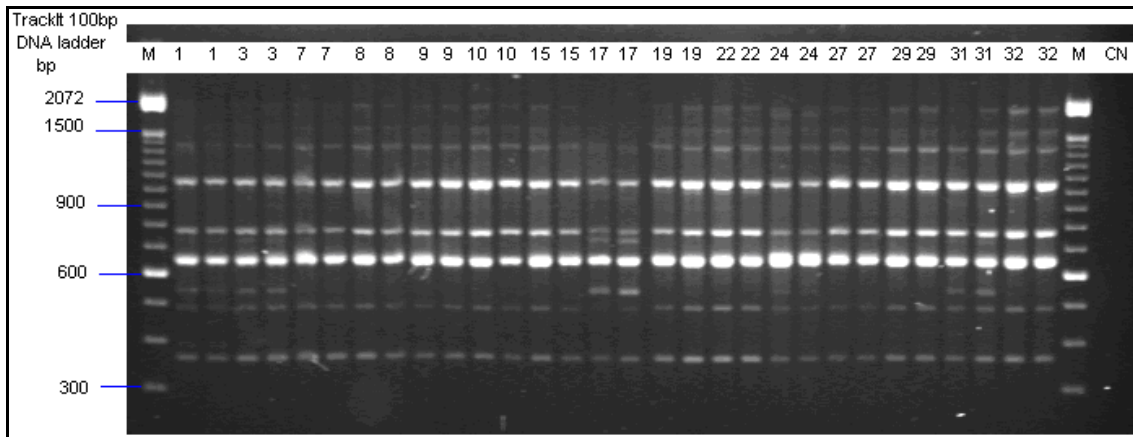
A partir de la información sobre las bandas amplificadas obtenidas en los geles de agarosa, se registró la presencia de bandas con el valor “1” o la ausencia de éstas con el valor “0”, construyendo de esta manera una matriz binaria (Basha & Sujatha, 2007). La matriz resultante fue introducida en el programa NTSys 2.02j y transformada en matrices de similitud, de acuerdo a distintos índices de asociación (Dice, Jaccard e igualdad simple). Para visualizar los agrupamientos existentes entre las accesiones de *J. curcas* se realizaron dendogramas a partir de las matrices de similitud mediante el método de UPGMA, con el fin de comparar las métricas utilizadas, y de esta forma verificar el patrón de agrupamiento que presentaron las muestras.

Además, con la matriz binaria se realizó el análisis de coordenadas principales y el análisis AMOVA en el programa FAMD 1.21 beta (software especializado en el análisis de marcadores dominantes). En este mismo programa se calcularon frecuencias alélicas y de loci, así como el número de bandas privadas por grupo.

## **3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

El presente estudio tiene el carácter de preliminar, debido a que existen pocos antecedentes de investigaciones moleculares de *Jatropha curcas* en el Ecuador. Sin embargo, los análisis realizados son de gran importancia para describir la diversidad genética de esta especie en nuestro país (Kumar *et al.*, 2008).

Los resultados de la amplificación de bandas (Figura 1) ratifican que los 6 marcadores ISSRs utilizados en esta investigación son altamente informativos (Culley *et al.*, 2007). Estos marcadores generaron 150 bandas, de las cuales 148 fueron polimórficas. Esto indica que el porcentaje de polimorfismo observado equivale a un 98.8%, porcentaje bastante alto comparado con los valores de otros estudios moleculares de la misma especie en donde se encontraron polimorfismos del 33.5% y 35.5% (Basha & Sujatha, 2007; Basha *et al.*, 2009). El porcentaje de polimorfismo observado indica que los 6 primers ISSRs tienen un poder discriminatorio muy grande (Venkatachalam *et al.*, 2008). Además, se observó la presencia de 7 bandas privadas o únicas (bandas específicas de un grupo) en el grupo 4 (localidad Pedernales Canoa, Km 4).

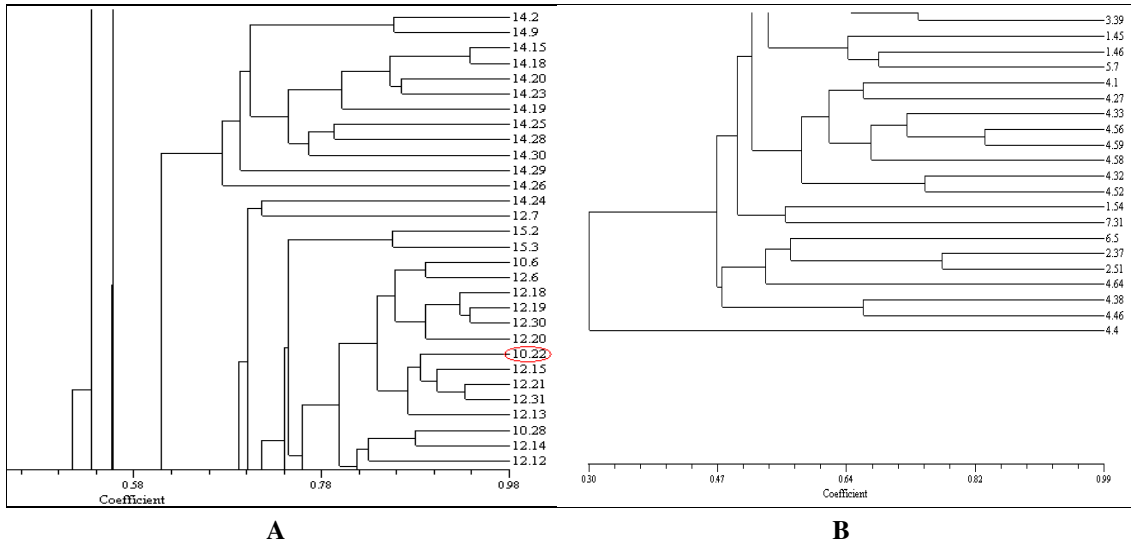


**Figura 1** Electroforesis en geles de agarosa al 1.5% de bandas amplificadas en dupletas mediante PCR obtenidos con el primer HB11 con las muestras de Quimi-La Pila de la Provincia de Manabí. CN: Control negativo, M: Marcador molecular TrackIt 100bp DNA Ladder (INVITROGEN®).

A partir de la matriz binaria obtenida [253x150] se construyeron matrices de similitud distintas, mediante tres índices de asociación binaria (igualdad simple, Jaccard y Dice). En la matriz de igualdad simple se observaron valores de similitud en un rango del 68 a 99%, en la matriz de Jaccard, en un rango del 18 al 98% y en la matriz de Dice, en un rango del 30 al 99%. Basha & Sujatha (2007) obtuvieron valores de similitud de 57.3 a 97% utilizando ISSRs y el coeficiente Dice. En cambio, Basha *et al.* (2009) lograron valores de 19.8 a 94.9% con la diferencia que utilizaron el coeficiente de Jaccard. Los valores de similitud resultantes de estas investigaciones indican que la similitud genética del piñón puede ser altamente variable dependiendo de su procedencia.

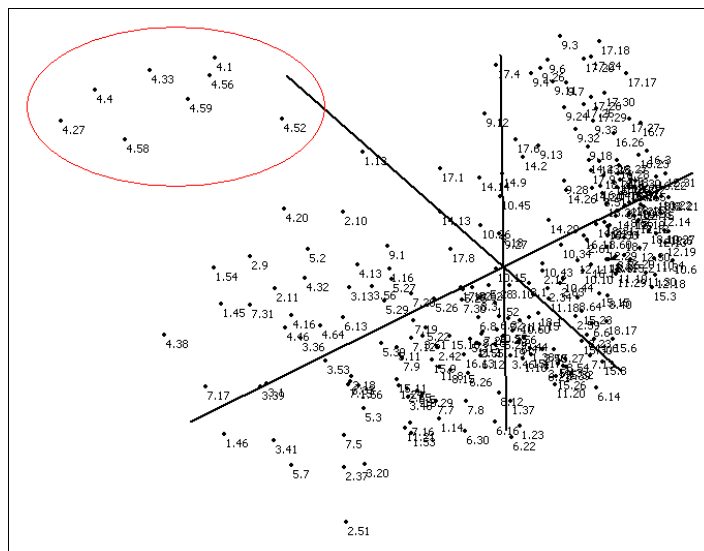
Los resultados obtenidos de la reconstrucción de dendogramas muestran que existen algunas localidades con tendencia a agruparse entre sí. De esta forma, la mayoría de individuos pertenecientes a las localidades 8, 9, 16, 14, 17 y 18, se asocian dentro de la misma rama. Sin embargo, cabe resaltar que no existió ninguna localidad, en ningún dendograma, que haya presentado todos sus individuos agrupados en una misma rama.

En varias ocasiones como se puede ver en la Figura 2A, se asocian individuos de locaciones distantes en una misma sección del dendograma. Lo que provee indicios de la falta de correlación geográfica y genética de esta población. Asimismo, no existe agrupamiento entre localidades cercanas geográficamente. Se puede apreciar que la menor similitud dentro del dendograma se refiere a individuos pertenecientes a la localidad 4 en su mayoría, como se muestra en la Figura 2B.



**Figura 2** Sección del árbol UPGMA, reconstruido a partir del coeficiente de Jaccard. A) Individuo de la localidad 10 (La Crespa, Flavio Alfaro) dentro del grupo de la localidad 12 (Pichincha, Quiroga), 72,97 Km de distancia. B) Individuos con menor coeficiente de similaridad.

Para verificar la presencia o ausencia de agrupamientos, se realizó un análisis de coordenadas principales en el programa FAMD 1.21 beta. Con lo que se ratificó la ausencia de grupos definidos dentro de la población. Al realizar este análisis, se puede distinguir una cantidad de individuos que se alejan de la acumulación de puntos (un individuo un punto) en el plano (Figura 3). Entre estos puntos se encuentra gran cantidad de individuos del grupo 4, así como algunos individuos de distintos grupos que no se agrupan claramente en ninguna localidad. La presencia de estos datos coincide con los agrupamientos observados en los dendogramas.



**Figura 3** Análisis de coordenadas principales en tres dimensiones. Se puede apreciar la acumulación de los individuos en el plano y la falta de agrupamiento entre estos. Solamente se distingue la separación de algunos individuos del grupo 4 fuera de la zona de mayor densidad de puntos.



La estructura genética de los individuos de piñón fue analizada mediante el AMOVA, el cual indica que el 100% de la variación total se debe a la variabilidad existente dentro de las poblaciones, es decir se debe a los individuos. Por ende, las poblaciones de piñón de la provincia de Manabí muestran una estructura genética escasa. Además este resultado indica que la variación entre localizaciones geográficas es nula (Dong *et al.*, 2007).

#### **4. CONCLUSIONES**

Los resultados logrados en el presente estudio, revelan los primeros datos de diversidad genética del piñón en Ecuador. Sin embargo, el tipo de marcador utilizado y la muestra escogida (Manabí), no permiten determinar de manera concluyente la estructura poblacional de esta planta en el país. Por lo que se debe considerar a esta investigación como un proyecto de carácter preliminar.

El protocolo utilizado para la extracción de ADN resultó altamente efectivo en la especie *Jatropha curcas*, logrando una concentración y pureza suficientes para los análisis posteriores. Los primers ISSRs utilizados mostraron un alto nivel de polimorfismo, por lo que resultaron sumamente informativos en el estudio.

Existe escasa evidencia de una correlación entre las distancias geográficas y las distancias genéticas de cada individuo.

La falta de agrupamiento entre individuos de una misma localidad, sugiere que existe migración. Y dado que la distancia a la que se encuentran estos individuos es considerable con respecto al origen geográfico de su grupo, se presume un efecto antropogénico. Ya que los agentes polinizadores como el viento o los insectos, no podrían lograr las distancias de migración observadas.

Existe una variabilidad genética considerable en la muestra analizada. Por lo que las plantas de piñón manabitas serían una potencial fuente de genes para posibles planes de mejoramiento, o para encontrar alelos relacionados con características agronómicas deseables.

El grupo 4, perteneciente a la localidad de Pedernales Canoa, Km 4, resulta evidentemente diferente al resto de la población. Por lo que se debe tener en cuenta a este grupo en la caracterización morfológica de la planta.

#### **5. RECOMENDACIONES**

El presente estudio representa una importante plataforma de información para futuros estudios de mejoramiento genético. Se recomienda realizar estudios que correlacionen características morfoagronómicas de interés (*e.g.* producción de aceite), con la información obtenida en este trabajo. El concatenar este tipo de datos permitirá realizar un buen manejo técnico de los cultivos de piñón en el Ecuador.

#### **AGRADECIMIENTO**

A las distinguidas autoridades de la Escuela Politécnica del Ejército, en especial al Crnl. Jaramillo por apoyar la ejecución de esta investigación. Al Ing. Vicente Anzules por su valiosa

contribución en la obtención de muestras vegetales en la Hacienda La Molestina IASA II. Al personal del laboratorio de Biotecnología Vegetal por su apoyo y colaboración. Y al grupo Holding Dine por su meritorio aporte en este trabajo, sin el cual no se hubiera podido llevar a cabo.

## REFERENCIAS

1. Achten, W., Verchot, L., Franken Y., Mathijs, E., Singh, V., Aerts, R., & Muys, B. (2008). *Jatropha* bio-diesel production and use. Biomass and Bioenergy 32, 1063-1084.
2. Andersson, K. (2006). European Renewable Energy Review. World Bioenergy 2006. Conference & Exhibition on Biomass for Energy. Touch Briefings.
3. Basha, D. & Sujatha, M. (2007). Inter and intra-population variability of *Jatropha curcas* L. Characterized by RAPD and ISSR markers and development of population-specific SCAR markers. Euphytica 156, 375-386.
4. Basha, S., Francis, G., Makkar, H., Becker, K. & Sujatha, M. (2009). A comparative study of biochemical traits and molecular markers for assessment of genetic relationships between *Jatropha curcas* L. germplasm from different countries. Plant Science 176, 812-823.
5. Castro, P., Coello, J. & Castillo, L. (2007). Opciones para la producción y uso del biodiesel en el Perú. Soluciones Prácticas-ITDG. Clasificación SATIS. Descriptores OCDE. Serie Libros 51, 1-78.
6. Culley, T., Sbita, S. & Wick, A. (2007). Population genetic effects of urban habitat fragmentation in the perennial herb *Viola pubescens* (Violaceae) using ISSR markers. Annals of Botany 93, 1-10.
7. Dong, Y., Chen, J., Gituru, R. & Wang, Q. (2007). Gene flow in populations of the endangered aquatic fern *Ceratopteris pteridoides* in China as revealed by ISSR markers. Aquatic Botany 87, 69-74.
8. Gohil, R. & Pandya, J. (2008) Genetic diversity assessment in physic nut (*Jatropha curcas* L.). International Journal of Plant Production 2 (4), 321-326.
9. Heller, J. (1996). Physic nut—*Jatropha curcas* L. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 1. International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy.
10. Khanuja, S., Shasany, A., Darokar, M. & Kumar, S. 1999. Rapid Isolation of DNA from dry and fresh samples of plants producing large amounts of secondary metabolites and essential oils. Plant Molecular Biology Reporter 17, 1-7.

11. King, A., He, W., Cuevas, J., Freudenberger, M., Ramiamanana, D. & Graham, I. (2009). Potencial of *Jatropha curcas* as a source of renewable oil and animal feed. Journal of Experimental Botany, 60, 2897-2905.
12. Kumar, A. & Sharma, S. (2006). An evaluation of multipurpose oil seed crop for industrial uses (*Jatropha curcas* L.): A review. Industrial Crops and Products 1(28), 1-10.
13. Kumar, S., Parthiban, T. & Rao, G. (2008). Molecular characterization of *Jatropha* genetic resources through inter-simple sequence repeat (ISSR) markers. Mol Biol Rep. 36, 1951-1956.
14. Perlack, R., Wright, L., Turhollow, A., Graham, R., Stokes, B., & Erbach D. (2005). Biomass as feedstock for a bioenergy and bioproducts industry: The technical feasibility of a billion-ton annual supply. Oak Ridge National Laboratory, Tennessee. U.S. Department of Energy. ORNL/TM-2005/66.
15. Ram, G., Parthiban, T., Kumar, S., Thiruvengadam, V. & Paramathma, M. (2008). Genetic diversity among *Jatropha* species as revealed by RAPD markers. Genet Resour Crop Evol. 55, 803-809.
16. Sarin, R., Sharma, M., Sinharay, S. & Malhotra R. (2006). Jatropha- Palm biodiesel blends: An optimum mix for Asia. Fuel 86, 1365-1371.
17. Sharma, D., Pandey, A. & Lata. (2008). Use of *Jatropha curcas* hull biomass for bioactive compost production. Biomass and Bioenergy 33, 159-162.
18. Tatikonda, L., Wani, S., Kannan, S., Beerelli, N., Sreedevi, T., Hoisington, D., Devi, P. & Varshney, R. (2009). AFLP- based molecular characterization of an elite germplasm collection of *Jatropha curcas* L., a biofuel plant. Plant Science 176, 505-513.
19. Venkatachalam, L., Sreedhar, R. & Bhagyalakschmi, N. (2008). The use of genetic markers for detecting DNA polymorphism, genotype identification and phylogenetic relationships among banana cultivars. Molecular Phylogenetics and Evolution 47, 974-985.
20. Zambrano, P. (2008, 22 de Agosto). Tecnología. El piñón manabita genera expectativa como biocombustible. El Diario. Portoviejo, 22-08-2008.

# PERNOS ESTRUCTURALES DE ALTA RESISTENCIA

**Christian Garzón Chalco**  
MR & Asociados Consultores S.A  
[christiangc2e@yahoo.com](mailto:christiangc2e@yahoo.com)

## RESUMEN

Las conexiones de elementos estructurales son de suma importancia en el comportamiento general de una estructura; el conocimiento básico de pernos hace que sea necesario previamente al cálculo de juntas empernadas. Las especificaciones ASTM, RCSC, son las que rigen los pernos de alta resistencia.

Perno, arandela y tuerca en conjunto, están especificados dentro de los códigos emitidos por AISC, RCSC, los cuales, a partir de estudios previos han demostrado ser la normativa adecuada para usarse como guía de diseño al momento de requerir juntas empernadas.

## ABSTRACT

The connections of structural elements are critical in the overall behavior of a structure; the basic knowledge of bolts makes it necessary to advance the calculation of bolted joints. ASTM, RCSC, specifications are those that govern high-strength bolts.

Bolt, washer and nut together are specified in codes issued by AISC, RCSC, which from previous studies have shown to be an appropriate standard for use as a guide when designing bolted joints require.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los pernos de alta resistencia están especificados bajo las normas ASTM A325 Y A490. El perno A325 es fabricado bajo tratamiento térmico y con un acero temperado de medio carbono, el perno A490 es de un acero de baja aleación y templado, tiene propiedades mecánicas más altas que el A325. (Kulak 2001).



**Figura 1** Perno de alta resistencia<sup>1</sup>

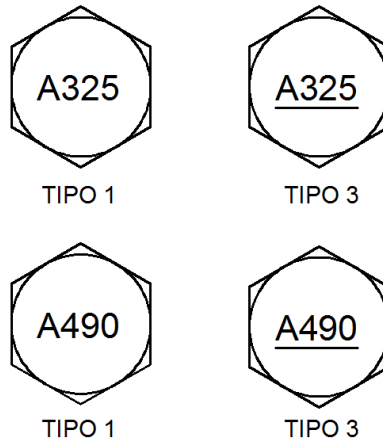
## 2. MARCO TEORICO

### 2.1 Resistencia a la tensión

Los pernos A325 poseen una resistencia mínima a la tensión de 120 ksi para diámetros de ½ - 1 pulgada, y de 105 ksi para diámetros de 1 1/8 – 1 ½ pulgadas de diámetro. El perno A490 tiene una resistencia mínima a la tensión entre 150 a 170 ksi para diámetros de ½ a 1 ½ pulgadas. (Kulak 2001, Vinnakota 2006).

## 2.2 Tipos de pernos de alta resistencia

Los pernos de alta resistencia de acuerdo a su clasificación metalúrgica están divididos en dos grupos, el grupo 1 cubre aceros al medio carbono para el perno A325, y para acero de baja aleación para el perno A490. El tipo o grupo 3 cubre las especificaciones de pernos de alta resistencia, los cuales han sido mejorados para resistir la corrosión atmosférica, los pernos del tipo 3 se diferencian del tipo 1 en la línea que se encuentra subrayando la especificación ASTM del perno en la cabeza hexagonal del mismo, como se indica en la figura 2. Los pernos del tipo 2 han sido removidos de las especificaciones RCSC, los cuales aparecen en ediciones anteriores de dichas especificaciones (RCSC 2004).



**Figura 2** Nomenclatura en cabeza de pernos ASTM A325 y A490 según tipo

1 Portland Bolt Company

## 2.3 Tuercas

Las tuercas que se utilizan conjuntamente con los tornillos de alta resistencia están bajo la normativa ASTM A563 grado C para los pernos A325, mientras que la tuerca ASTM A 563 grado DH es la recomendada a usarse con los pernos A490, de igual manera que los pernos existen tuercas tipo 1 y 3. (Vinnakota 2006).



**Figura 3** Tuerca ASTM A563 DH<sup>2</sup>

## 2.4 Arandelas

El tipo de arandelas que se utilizan en conjunto con los pernos de alta resistencia están bajo la especificación ASTM F436, y su función fundamental es la de aportar una superficie endurecida no abrasiva bajo la cabeza del tornillo o la tuerca de trabajo pesado. Las arandelas tienen la finalidad de proteger la superficie exterior del material juntado a fin de evitar las consecuencias de desgaste de este material por el giro de la tuerca en la instalación con el perno, además para ayudar a optimizar la fuerza de sujeción en la instalación del perno y para proporcionar superficies de dureza consistentes. (Vinnakota 2006, Kulak 2001).



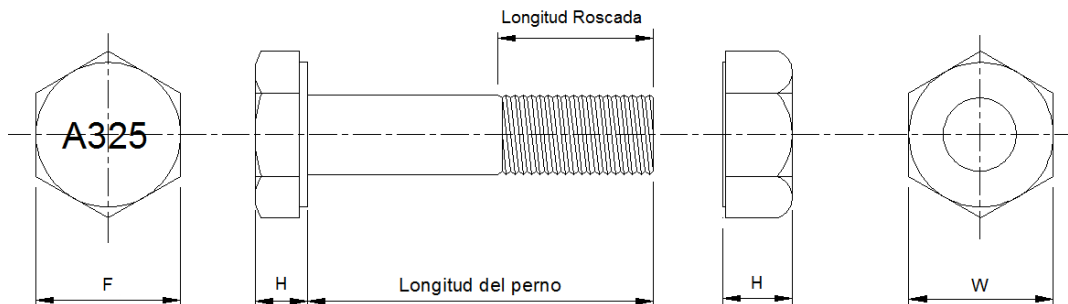
**Figura 4** Arandela ASTM F436<sup>3</sup>

Las dimensiones de pernos, arandelas y tuercas de alta resistencia están estandarizadas y normadas de acuerdo a RCSC. Estas dimensiones se las encuentra en la tabla C-2.1 del RCSC 2004, la misma que se reproduce a continuación en la tabla 1.

2, 3 Portland Bolt Company

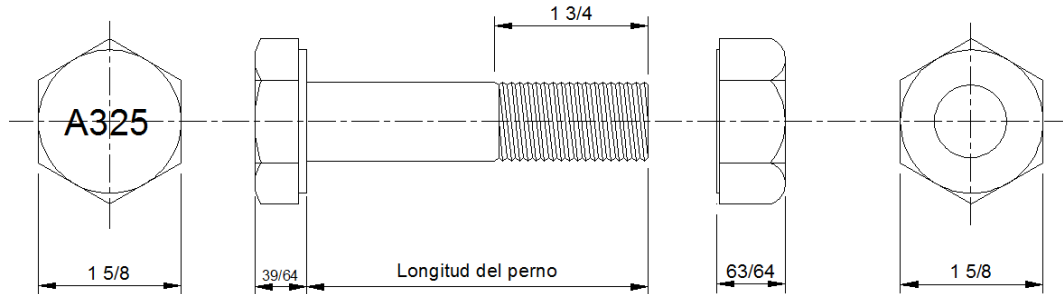
**Tabla 1** Dimensiones estándares de pernos y tuercas<sup>4</sup>

| Diámetro Nominal del Perno <i>db, in.</i> | Dimensiones de Pernos Estructurales de Cabeza Hexagonal Pesada |                        |                                 | Dimensiones de Tuercas Hexagonales Pesadas  |                        |
|---|--|------------------------|---------------------------------|---|------------------------|
|   | Ancho a través de cara plana <i>F, plg.</i>                    | Altura <i>H1, plg.</i> | Longitud Roscada <i>T, plg.</i> | Ancho a través de cara plana <i>W, plg.</i> | Altura <i>H2, plg.</i> |
| 1/2                                       | 7/8  | 5/16                   | 1                               | 7/8   | 31/64                  |
| 5/8                                       | 1 1/16   | 25/64                  | 1 1/4                           | 1 1/16                                      | 39/64                  |
| 3/4                                       | 1 1/4  | 15/32                  | 1 3/8                           | 1 1/4                                       | 47/64                  |
| 7/8                                       | 1 7/16   | 35/64                  | 1 1/2                           | 1 7/16                                      | 55/64                  |
| 1   | 1 5/8  | 39/64                  | 1 3/4                           | 1 5/8                                       | 63/64                  |
| 1 1/8                                     | 1 13/16  | 11/16                  | 2                               | 1 13/16                                     | 1 7/64                 |
| 1 1/4                                     | 2  | 25/32                  | 2                               | 2   | 1 7/32                 |
| 1 3/8                                     | 2 3/16   | 27/32                  | 2 1/4                           | 2 3/16                                      | 1 11/32                |
| 1 1/2                                     | 2 3/8  | 15/16                  | 2 1/4                           | 2 3/8                                       | 1 15/32                |



**Figura 5** Dimensiones estándares de pernos y tuercas de alta resistencia, de acuerdo a la tabla 1

Por ejemplo si se requiere de un perno de 1 pulgada de diámetro, entonces éste tendrá las dimensiones que se observan en la figura 6.



**Figura 6** Dimensiones para perno de 1 pulgada de diámetro

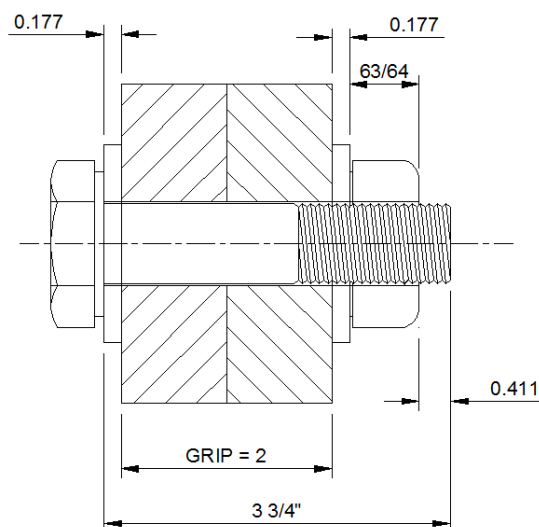
### 2.5 Longitudes de pernos

La tabla 7-15 del LRFDM 13th edición, establece las dimensiones de pernos de alta resistencia, tuercas y arandelas. La longitud del perno es la suma de las placas a unir (grip), más los espesores de las arandelas, más el valor dado en la tabla C-2.2 del RCSC y por último se redondea al siguiente valor de  $\frac{1}{4}$ " para longitudes de grip menores a 5", e incrementos de  $\frac{1}{2}$ " para pernos con grip mayores a 5" de longitud, (LRFDM 13th edición). La tabla C-2.2 del RCSC 2004, se reproduce a continuación como tabla 2.

**Tabla 2** Longitud a aumentar al grip de acuerdo al diámetro del perno<sup>5</sup>

| Diámetro Nominal del Perno <i>db, plg.</i> | Para Determinar la Longitud requerida, Anadir al Grip, <i>plg.</i> |
|--|--|
| 1/2  | 11/16  |
| 5/8  | 7/8  |
| 3/4  | 1  |
| 7/8  | 1 1/8  |
| 1  | 1 1/4  |
| 1 1/8                                      | 1 1/2  |
| 1 1/4                                      | 1 5/8  |
| 1 3/8                                      | 1 3/4  |
| 1 1/2                                      | 1 7/8  |

Por ejemplo para el perno de la figura 7, de 1" de diámetro y con un grip de 2" se obtendrá una longitud total de 3 3/4", el mismo que tendrá una holgura de longitud exterior de 0.411", ya redondeado al  $\frac{1}{4}$ " inmediato superior. (Las dimensiones de la figura 7 en pulgadas).



**Figura 7** Longitud total de perno de 1" de diámetro con un grip de 2"

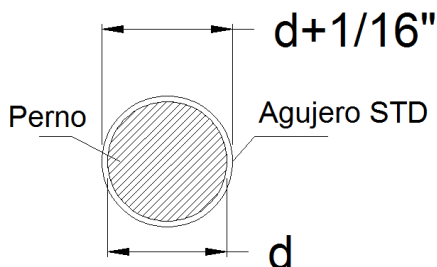
### 2.6 Perforaciones de agujeros para los pernos de alta resistencia

Para realizar las perforaciones, para alojar los pernos de alta resistencia, se tienen tres técnicas, la primera consiste en punzonar los agujeros, esto se lo debe realizar si el espesor de las placas es relativamente delgado o si el espesor del material es menor o igual al diámetro nominal del perno más 1/8", para utilizar la segunda técnica de perforación se debe revisar si el material es mayor al diámetro nominal del perno más 1/8", si se cumple esto entonces los agujeros se riman, para esta técnica se sub punzonan los agujeros 1/16" menos, para luego escariarlos hasta el diámetro del tornillo más 1/16", con esto se consigue retirar el material dañado, que es consecuencia de punzonar los agujeros. Y por ultimo cuando se tienen placas de aceros de alta resistencia y con espesores extremadamente gruesos, entonces es necesario taladrar los agujeros. (Vinnakota 2006)

Existen tres tipos de agujeros que se pueden utilizar para alojar los pernos de alta resistencia: agujeros estándar (STD), agujeros sobredimensionados (OVS), agujeros de ranura corta y agujeros de ranura larga. (LRFDS 2005).

#### 2.6.1 Agujeros estándar (STD)

Los agujeros estándar son aquellos en los que se aumenta en 1/16" el diámetro nominal del perno, esto con el fin de brindar una holgura en lo referente a montajes estructurales. Los agujeros STD son los recomendados a utilizar por AISC para la mayoría de las aplicaciones.



**Figura 8** Agujero estándar STD



### 2.6.2 Agujeros Sobredimensionados (OVS)

Proporciona una mayor holgura para alojar los pernos de alta resistencia, se aumenta 3/16 pulgadas al diámetro nominal del perno a alojar.

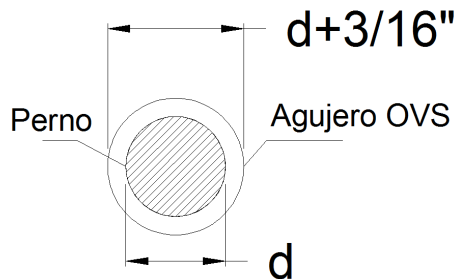


Figura 9 Agujero sobredimensionado OVD

### 2.6.3 Agujeros de ranura (SSL, LSL)

Los agujeros de ranura corta y larga son aquellos en los que brindan un ajuste en una sola dirección, y dependiendo de la dirección de la carga la ranura puede ser vertical u horizontal.

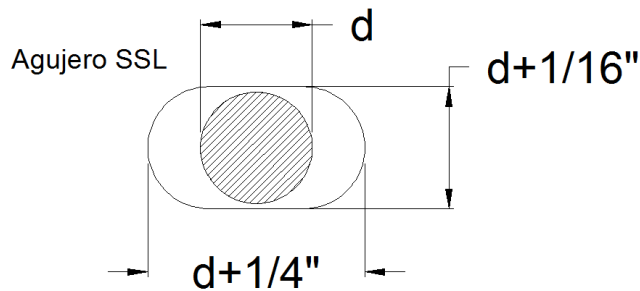


Figura 10 Agujero estándar SSL (Short-Slot)

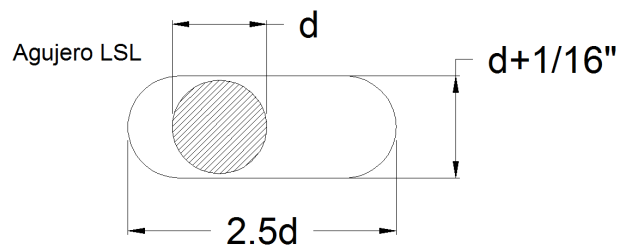


Figura 11 Agujero estándar LSL (Long-Slot)

Dependiendo del diámetro del perno de alta resistencia se establecen las dimensiones nominales de los agujeros, como se indica en la tabla 3.

Pruebas de pretensión (analizada en la sección 2.8), realizadas a varios pernos A325 de 1" de diámetro alojados en agujeros con diversas holguras han dado como resultado que los pernos inmersos en los agujeros estándar (1/16" de holgura), son los más eficientes a la hora de realizar la precarga en pernos de alta resistencia, observando un alto nivel de precarga obtenido sin arandela alguna, similares resultados se encontraron con los pernos alojados en agujeros de ranura en dirección transversal a la carga.

Tabla 3 Dimensiones de agujeros para pernos<sup>6</sup>

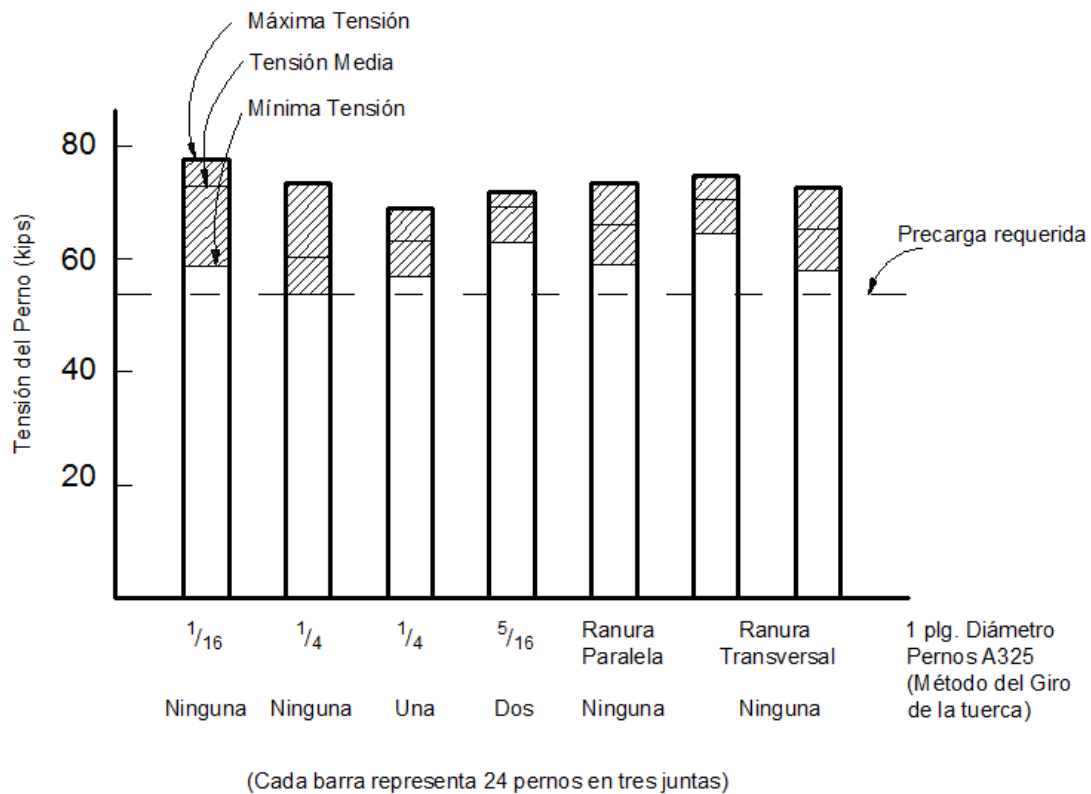
| <b>TABLA J3.3</b>                             |                             |                                      |  |  |
|---|-----------------------------|--------------------------------------|--|--|
| <b>Dimensiones Nominales de Agujero, plg.</b> |                             |                                      |  |  |
| Diámetro del Perno                            | Dimensiones del Agujero     |                                      |  |  |
|   | Agujero Estándar (Diámetro) | Agujero Sobredimensionado (Diámetro) | Agujero de Ranura Corta (Ancho x Longitud) | Agujero de Ranura Larga (Ancho x Longitud) |
| 1/2   | 9/16                        | 5/8                                  | 9/16 x 11/16                               | 9/16 x 1 1/4                               |
| 5/8   | 11/16                       | 13/16                                | 11/16 x 7/8                                | 11/16 x 1 9/16                             |
| 3/4   | 13/16                       | 15/16                                | 13/16 x 1                                  | 13/16 x 1 7/8                              |
| 7/8   | 15/16                       | 1 1/16                               | 15/16 x 1 1/8                              | 15/16 x 2 3/16                             |
| 1   | 1 1/16                      | 1 1/4                                | 1 1/16 x 1 5/16                            | 1 1/16 x 2 1/2                             |
| ≥ 1 1/8                                       | d+1/16                      | d+5/16                               | (d+1/16) x (d+3/8)                         | (d+1/16) x (2.5 x d)                       |

Las pruebas en pernos alojados en agujeros de 1/4" de holgura, con y sin arandela han alcanzado un promedio de precarga similar entre sí, independientemente si se utiliza o no arandelas, en agujeros de 5/16" de holgura con dos arandelas se ha observado un aceptable nivel de precarga, similar con los pernos alojados en agujeros de ranura paralelos a la carga

Cuando no se utiliza arandela en la instalación de pernos, puede ocurrir una depresión de la placa debajo del perno especialmente en holguras considerables, causando que no exista la elongación efectiva del perno y, por ende no se alcance la mínima pretensión requerida. (Kulak 2001).

6 LRFDS, 2005

Como se observa en la figura 12 la holgura del agujero del perno influye enormemente en la precarga final del perno de alta resistencia.



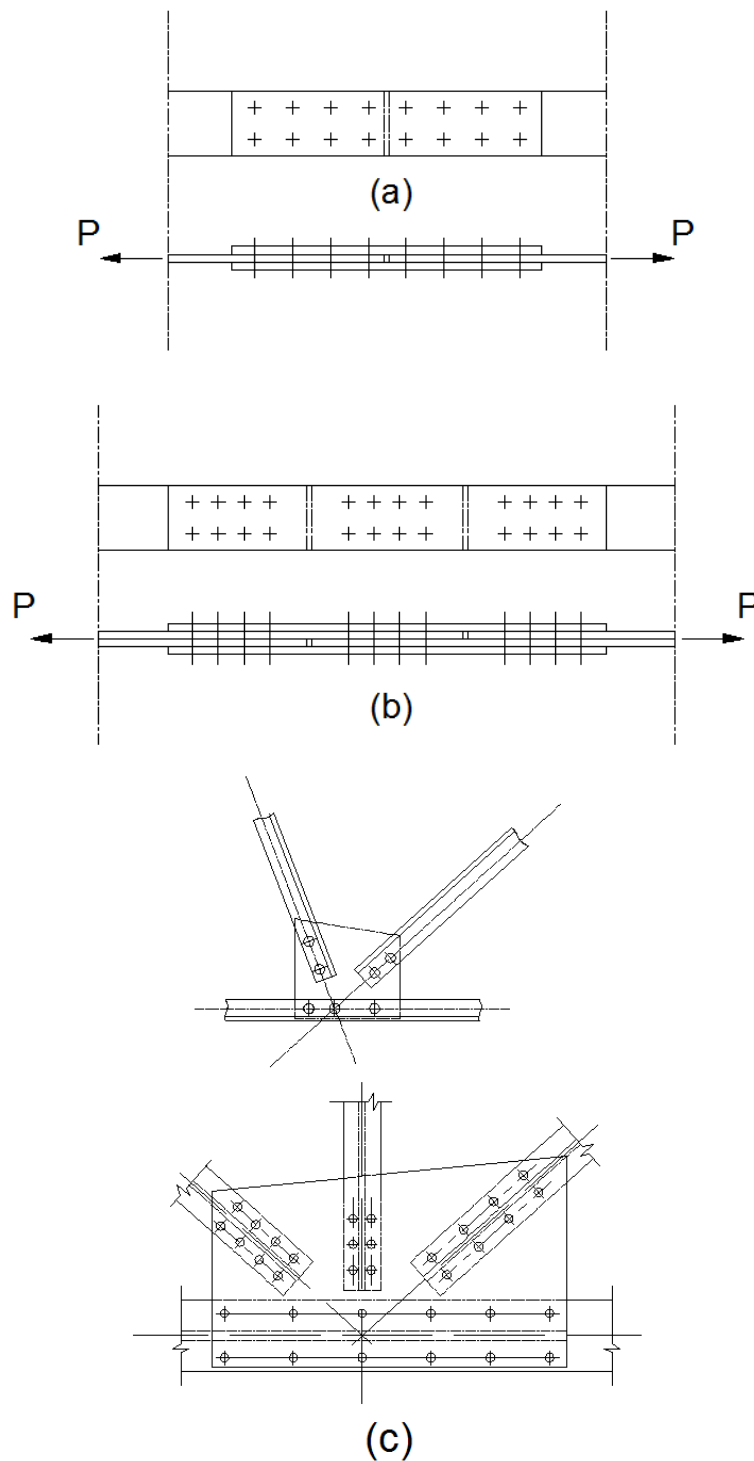
**Figura 12** Resultados de precarga final en diversas holguras de agujeros<sup>7</sup>

## 2.7 Tipos de conexiones

El tipo de conexión depende de la fuerza que se aplique a los pernos, estas son: corte; tensión; y la combinación de tensión y corte.

En la conexión de corte los pernos son cargados con carga de corte axial o corte excéntrico, si la línea de acción de la carga aplicada pasa a través del centroide del conjunto de pernos, entonces la junta es cargada con corte axial. En corte excéntrico, la fuerza de corte no pasa a través del centroide del grupo de pernos, esto produce un momento torsional sobre la junta empernada, el mismo que incrementa los esfuerzos de corte en el perno. La tabla 7-7 del LRFDM 13th. Edition provee criterios de diseño cuando la junta empernada posee un tipo de excentricidad debido a que la línea de acción de la fuerza no pasa por el centroide del grupo de pernos que conforman la junta. Cuando la longitud de la junta empernada medida en forma paralela a la línea de acción de la fuerza de corte excede 50 pulgadas, entonces una reducción del 20% en la resistencia a corte de la junta se debe aplicar.

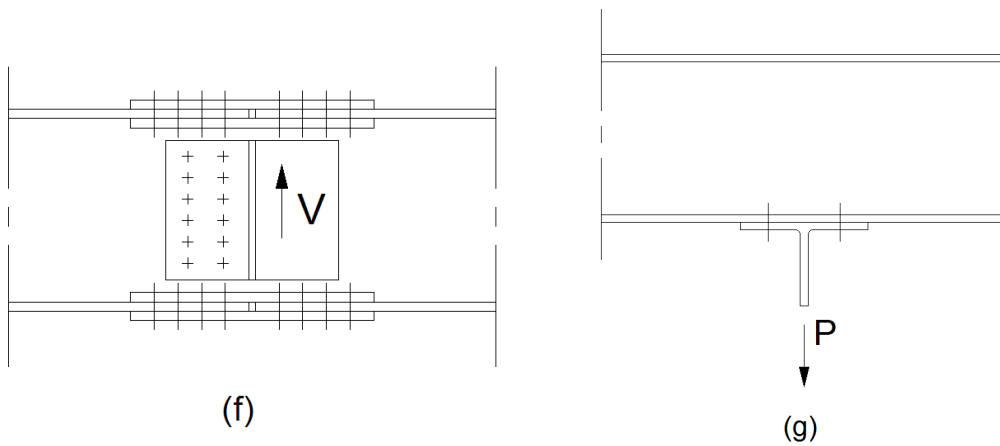
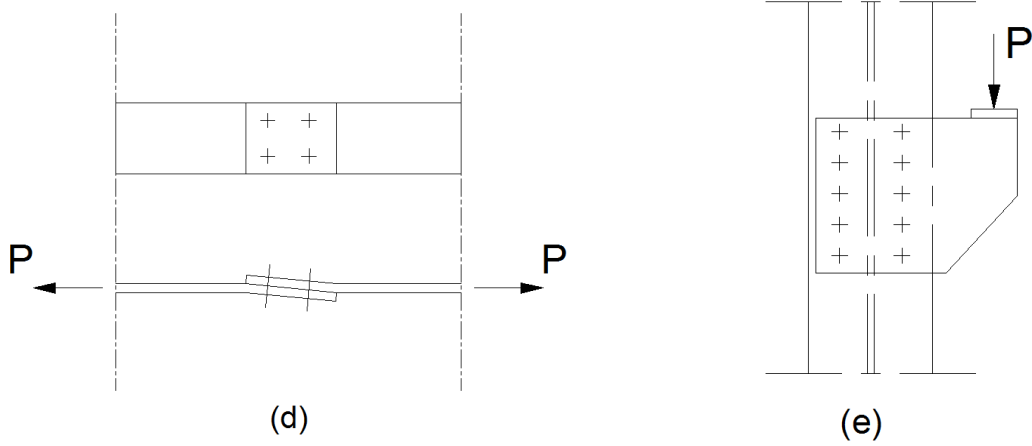
<sup>7</sup> Guide to Design Criteria for Bolted and Riveted Joints, 2001



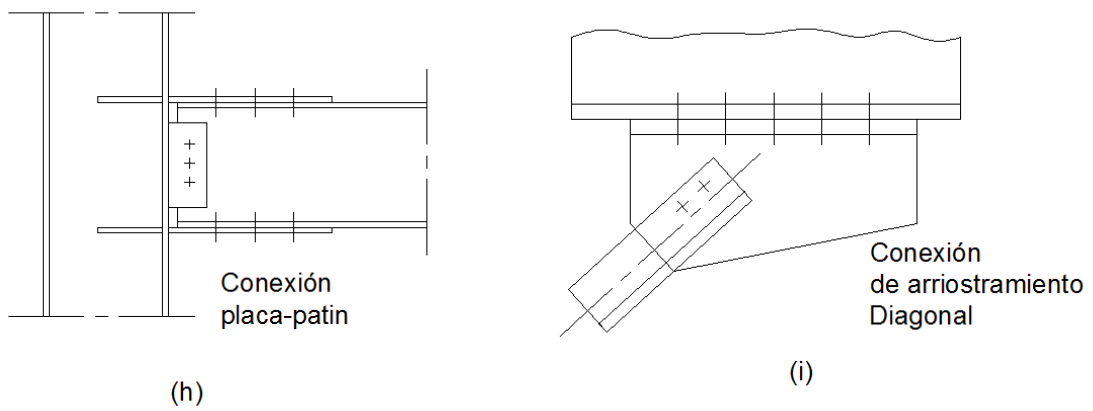
**Figura 13** Ejemplos de conjunto de pernos sometidos a corte axial<sup>8</sup>

En la figura 13 (a) se indica la más común de las conexiones, es la conexión simétrica de doble cortante, en la cual se previene que en la junta ocurran efectos de flexión que serían perjudiciales al comportamiento de la misma, como se indica en la figura 13 (d), es decir el utilizar conexiones con planos de doble cortante hacia el perno es recomendable a fin de prevenir las consecuencias antes descritas.

En las figuras 13 (e) y (f) se indican ejemplos de casos de juntas cargadas con corte excéntrico, en estas se observa claramente como la línea de acción de la fuerza de corte no pasa a través del centroide del conjunto de pernos que conforman la junta.



**Figura 13 (Continuación)** Ejemplos de conjunto de pernos sometidos a corte axial<sup>8</sup>



**Figura 13 (Continuación)** Ejemplos de conjunto de pernos sometidos a corte axial<sup>8</sup>

La figura 13 (g) indica un ejemplo en el cual los pernos se encuentran en tensión pura, estos casos son utilizados en elementos de edificios y sistemas de pisos de puentes en donde estas conexiones son requeridas para transmitir momentos, por lo que se requiere que se asegure la continuidad estructural de elementos, estos casos no son muy comunes, ya que la mayoría de pernos están sujetos a esfuerzos de tensión y corte combinados.

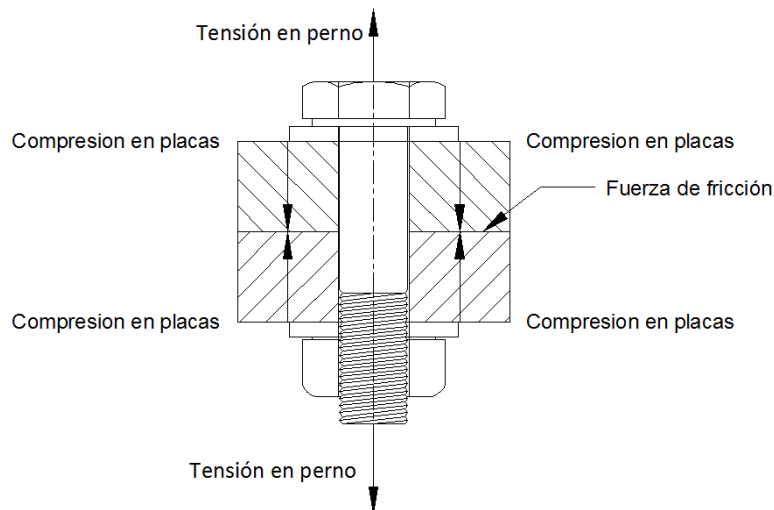
El caso en el cual los pernos están sometidos a esfuerzos de tensión y corte combinados es la junta de momento como se indica en la figura 13 (h), por último en la figura 13 (i), se observa otro ejemplo de este tipo de esfuerzo al que están sometidos los pernos. Las figura 13 (b) y (c), indican juntas sometidas a corte axial. (Kulak 2001).

## 2.8 Precarga en pernos de alta resistencia

La precarga en pernos de alta resistencia se la debe considerar cuando las juntas a empernar están expuestas a las siguientes solicitaciones de carga: juntas que están sujetas a significantes cargas reversibles, juntas que están sujetas a carga de fatiga sin la inversión de la dirección de la carga, juntas con pernos A325 los mismos que están sujetos a la fatiga de tracción y, juntas con pernos A490 que están sujetas a tensión o esfuerzos combinados de tensión y corte con y sin fatiga. (RCSC 2004).

Cuando se empieza a apretar el perno, se genera un alargamiento en el mismo, que a su vez hace que se presente una pretensión hacia el perno y una compresión en la junta de igual magnitud a la primera. A medida que se incrementa la elongación en el perno empieza a aparecer la fuerza de fricción entre las placas unidas, como se indica en la figura 14, ésta última es directamente proporcional a la fuerza de compresión de las placas, y también al coeficiente de fricción  $\mu$  del material unido, el cual es dependiente de la rugosidad de las superficies en contacto, para el acero se tiene desde 0.1 a 0.6. (Vinnakota 2006).

8 Guide to Design Criteria for Bolted and Riveted Joints, 2001



**Figura 14** Perno en precarga

Para obtener el deseado nivel de precarga, el RCSC indica que la tensión que se debe dar al perno debe ser de al menos el 70% de la mínima resistencia a la tensión del perno. El resultado mínimo de pretensión para los pernos A325 y A490 es el que se indica en la tabla 4. (Kulak 2001).

**Tabla 4** Valores mínimos para pretensión en pernos <sup>9</sup>

| Diámetro Nominal del Perno <i>db</i> , plg. | Pretensión Mínima para Perno <i>Tm</i> , kips (a) |                  |
|---|---|------------------|
|   | Pernos ASTM A325 Y F1852                          | Pernos ASTM A490 |
| 1/2   | 12  | 15               |
| 5/8   | 19  | 24               |
| 3/4   | 28  | 35               |
| 7/8   | 39  | 49               |
| 1   | 51  | 64               |
| 1 1/8                                       | 56  | 80               |
| 1 1/4                                       | 71  | 102              |
| 1 3/8                                       | 85  | 121              |
| 1 1/2                                       | 103   | 148              |

(a) Igual al 70 por ciento de la Resistencia mínima para pernos como se detalla en las Especificaciones para ensayos de pernos en especímenes completos ASTM A325 y A490 con roscas UNC cargados en tensión axial, redondeado al más cercano *kip*

9 RCSC, 2004

Como se indica en la tabla 4, dependiendo del diámetro del perno y de la especificación ASTM, se tiene una tensión mínima para poder pretensar los pernos.

## 2.9 Instalación de pernos de alta resistencia

La instalación de pernos de alta resistencia es de vital importancia en el montaje estructural de un determinado proyecto, en los cuales se requiera la precarga de pernos. Existen en la actualidad 4 métodos para realizar la instalación en pretensión de pernos de alta resistencia, a saber: el método de la llave calibrada (Control de Torque); el método de control de tensión; el método de giro de la tuerca y el método DTI (Indicador de Tensión Directa).

### 2.9.1 Método de Control de Torque

Uno de los métodos para realizar la precarga del perno es el método de Control de Torque, el mismo que consiste en registrar un torque determinado en el instrumento instalador, el cual transmite ésta energía de torque en el perno y se aprecia en una elongación determinada y por ende se obtiene la precarga deseada, la llave se detiene una vez que alcanza el torque especificado. Estudios realizados a este método han indicado la variabilidad de la relación torque-tensión, que en promedio es de  $\pm 40\%$ . Es decir que un perno al cual se le proporciona un torque determinado obtendrá la tensión requerida, pero el siguiente perno a instalar podría necesitar un mayor torque para la misma tensión requerida, o instalarlo con el mismo torque y obtener una menor tensión, esta variación es causada principalmente por las condiciones superficiales bajo las tuercas, lubricación, factores como la corrosión de las roscas de pernos y tuercas, cambios en el aire comprimido de la llave y mangueras, cambios de operarios, todos estos causan la disipación de la energía de torque y por ende la pérdida de pretensión en el perno. La tabla 5 indica las condiciones de instalación del juego perno-tuerca, torque aplicado y la tensión obtenida para un perno ASTM A325 de 7/8" de diámetro.

**Tabla 5** Torque requerido para la misma tensión en pernos <sup>10</sup>

|                         | <b>Perno engrasado</b> | <b>Perno Seco</b> | <b>Perno oxidado</b> |
|-------------------------|------------------------|-------------------|----------------------|
| <b>Torque (pie-lbs)</b> | 300                    | 500               | 800                  |
| <b>Tensión (kips)</b>   | 39                     | 39                | 25                   |

Con un engrasado correcto para el perno A325 de 7/8" de diámetro tan solo fue necesario proporcionar un torque de 300 lbs-pie, para obtener el valor de 39 kips de la tabla 4, después de secarse la lubricación, este perno necesita un torque de 500 lbs-pie, para obtener los mismos 39 kips de tensión. El valor de 25 kips en la tabla anterior indica el valor antes de la falla por torsión, esto no significa que ha existido un sobre apriete, sino que las condiciones de las roscas no son las optimas y se ha requerido de 800 *pie-lbs* de torque, para obtener tan solo 25 kips de tensión, con esto se evidencia que es muy importante las condiciones de las roscas del perno y de la tuerca, por lo que la recomendación si se utiliza este método es revisar todas las superficies de roscado tanto de pernos como de tuercas y utilizar un adecuado procedimiento de lubricación. Cuando se utiliza este método una arandela ASTM F436 deberá ser usada debajo del elemento girado. (Kulak 2001, Applied Bolting Technology, RCSC 2004).

10 Lessons From the Field – Lesson 1: A Torqued Bolt Isn't Necessarily a Tight Bolt

### 2.9.2 Método de Control de Tensión

Algunos pernos son instalados con calibradores de tensión, los cuales miden directamente la tensión en el perno y con esto se puede ajustar la llave para que se detenga en un valor mínimo del 5% más de la precarga deseada. Cuando se utiliza este método una arandela ASTM F436 deberá ser usada debajo de la tuerca como parte del ensamble. (Kulak 2001, RCSC 2004).

### 2.9.3 Método de Giro de la Tuerca

Otro de los métodos para realizar la instalación de precarga es el método del Giro de la Tuerca utilizando llaves de impacto. Este método depende del control de desplazamientos, una vez alcanzada la posición de perno ajustado, a la tuerca se le añade un adicional de 1/2 o 3/4 etc. de giro, dependiendo de la longitud del perno. La condición de perno ajustado es definida como el punto en el cual el impacto se hace presente en la llave.

Esto ocurre cuando el giro de la tuerca es resistido por la fricción entre la cara de la tuerca y la superficie de las placas de acero juntas. Este ajuste induce pequeñas fuerzas de sujeción en los pernos. En la condición de perno ajustado estas fuerzas de sujeción pueden variar considerablemente ya que las elongaciones aún están dentro del rango elástico. El promedio de esta fuerza de sujeción es de 26 kips.

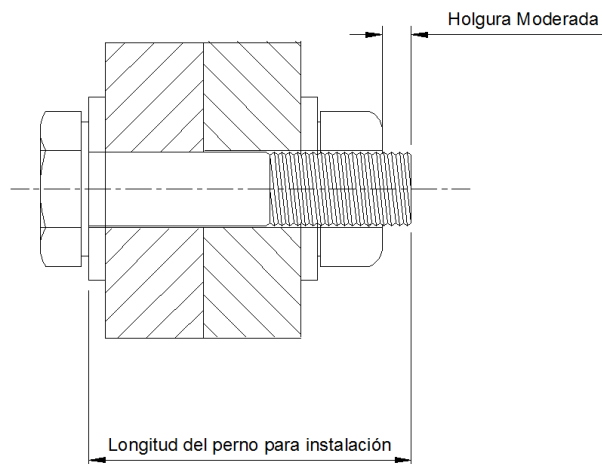
**Tabla 6** Fracciones de giro de tuerca<sup>11</sup>

| <b>Tabla 8.2 Rotación de la Tuerca desde la Posición de Apriete firme para el Método de Pretensionamiento de Giro de Tuerca (a),(b)</b> |   |   |   |
|---|---|---|---|
| Longitud del Perno ( c )  | Disposición de cara exterior de las piezas empernadas |   |   |
|   | Ambas Caras normales al eje del Perno                 | Una Cara normal al eje del Perno, y la otra inclinada no mas que 1:20 (d) | Ambas Caras inclinadas no mas que 1:20 con relación al eje normal del Perno (d) |
| No más que 4 <i>db</i>  | 1/3 Vuelta  | 1/2 Vuelta  | 2/3 Vuelta  |
| Mas que 4 <i>db</i> pero no más que 8 <i>db</i>   | 1/2 Vuelta  | 2/3 Vuelta  | 5/6 Vuelta  |



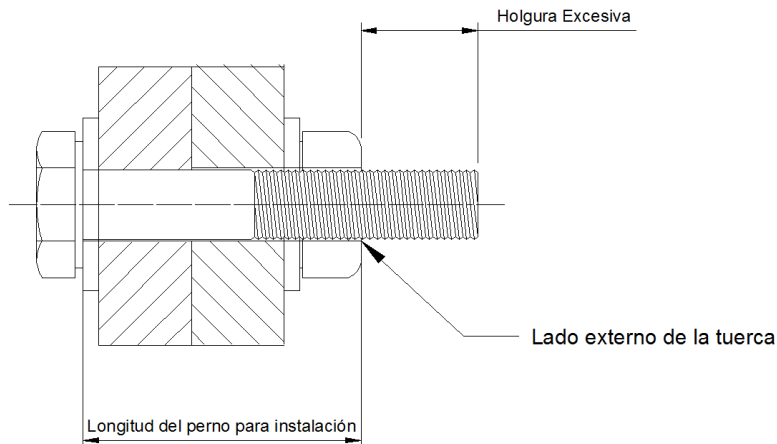
| Más que 8 <i>db</i> pero no más que 12 <i>db</i>   | 2/3 Vuelta | 5/6 Vuelta | 1 Vuelta |
|--|------------|------------|----------|
| (a) La rotación de la Tuerca es relativa para el Perno independientemente del elemento (tuerca o perno) que está siendo girado. Para rotaciones requeridas de la tuerca de 1/2 de vuelta o menos la tolerancia es más o menos 30 grados; Para rotaciones de tuerca requeridas de 2/3 de vuelta y mas, la tolerancia es más o menos 45 grados.<br>(b) Aplicable únicamente a juntas en las cuales todo el material que forma parte del grip es acero.<br>(c) Cuando la longitud del perno excede 12 <i>db</i> , la rotación de la tuerca será determinada por una prueba adecuada en el calibrador de tensión que simula las condiciones de montaje de acero solido.<br>(d) Arandela biselada no utilizada. |            |            |          |

La tabla 6 indica las fracciones de vuelta que se debe dar a la tuerca una vez que el perno llega a la posición de perno ajustado, RCSC indica que para utilizar la tabla 6 se requiere de una definida longitud de perno ésta se mide desde el lado debajo de la cabeza al extremo final del perno, como se indica en las figuras 15 y 16, por ejemplo para longitudes que sean mayores a 4 pero menores a 8 veces el diámetro, se requiere de media vuelta a partir de la posición de perno ajustado, y dependiendo de las longitudes de los pernos, en función de sus diámetros, se elige ya sea 1/3, 1/2, 2/3, 5/6, o 1 vuelta de la tuerca, la nota c de la tabla 6 indica que para longitudes de pernos mayores a 12 veces el diámetro se debe recurrir al método de control de tensión a fin de determinar la rotación de la tuerca.



**Figura 15** Longitud del perno para instalación por el método de giro de la tuerca, holgura moderada

Se debe tener cuidado en lo referente en la longitud del perno ya que una holgura excesiva de la parte roscada exterior a la tuerca, indica una excesiva longitud de perno por lo que un método alternativo para estos casos es el escoger como longitud aquella que vaya desde el lado debajo de la cabeza del perno hasta el lado externo de la tuerca, como se indica en la figura 16.



**Figura 16** Longitud del perno para instalación por el método de giro de la tuerca, holgura excesiva  
11 RCSC 2004

Cuando se tiene juntas con superficies que poseen cierta pendiente, con respecto al eje longitudinal del perno, la tabla 6 indica las fracciones de vuelta que se deben aplicar para cuando la pendiente es hasta de 1:20, sin embargo la introducción de arandelas desniveladas eliminan esta consideración y se trabaja de acuerdo con la columna de caras normales al eje longitudinal del perno. El método de giro de la tuerca es el método más uniforme para pretensar pernos de alta resistencia, ya que con éste se controla la tensión en la región inelástica que alcanza el perno durante el giro de la tuerca. (Kulak 2001).

#### 2.9.4 Método DTI, Indicador de Tensión Directa

Para este método se debe utilizar la normativa ASTM F959, la cual indica las especificaciones de arandelas de compresión para ser utilizadas con el método DTI. Este método se caracteriza en hacer llegar al perno a la pretensión mínima de un 1.05 veces el especificado en la tabla 4.



**Figura 17** DTI ASTM F959<sup>12</sup>

Cuando se utiliza el método DTI se debe utilizar las siguientes consideraciones referentes a las arandelas ASTM F436. Cuando la tuerca es girada y la arandela F959 (DTI) es colocada debajo de la cabeza del perno una arandela F436 deberá ser colocada debajo de la tuerca, figura 18 (a). Cuando la tuerca es girada y la arandela F959 (DTI) es colocada debajo de la tuerca, una arandela F436 deberá ser colocada entre la tuerca y el DTI, figura 18 (b).

<sup>12</sup> Applied Bolting Technology

Cuando la cabeza del perno es girada y el DTI es colocado debajo de la cabeza del perno, una arandela F436 deberá ser colocada entre la cabeza del perno y el DTI, figura 18 (c). Cuando la cabeza del perno es girada y el DTI es colocado debajo de la tuerca, una arandela F436 deberá ser colocada debajo de la cabeza del perno, figura 18 (d). (RCSC 2004).

Antes de utilizar este método es recomendable realizar pruebas previas a varios pernos con las condiciones del método DTI y pretensionarlos con calibradores de tensión, hasta verificar las condiciones visuales que requieren los DTI's a lo largo de toda la instalación en determinado proyecto, y conseguir con esto la pretensión requerida.

La ventaja de utilizar este método de ajuste consiste en verificar visualmente cuando se desprende la silicona de las cavidades del DTI ASTM F959, cuando esto ocurre entonces el perno posee la pretensión requerida.

### **2.10 Relajación de pernos**

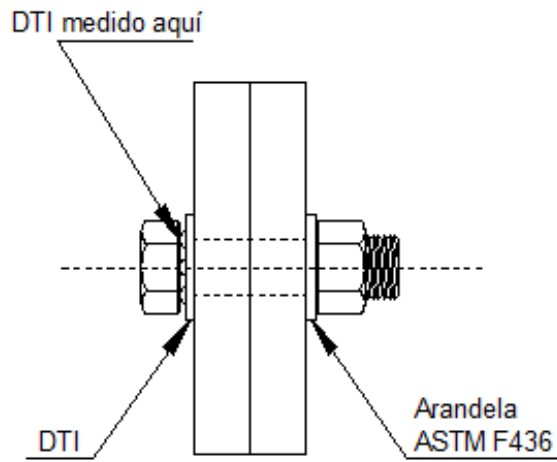
Una vez que finaliza el proceso de precarga en el perno, se evidencia una pérdida de tensión, debido a las deformaciones plásticas en las partes roscadas y al flujo plástico en las placas debajo de la cabeza del perno y debajo de la tuerca, estas deformaciones dan como resultado una recuperación elástica y consecuentemente la pérdida de tensión en el perno, la mayor parte de la pérdida de precarga ocurre dentro de un pequeño lapso de tiempo después de la instalación. Estudios efectuados en pernos alojados en agujeros estándar, han dado como resultado que la pérdida de la precarga está en alrededor del 5 al 10%, dependiendo de la longitud del grip y del uso de arandelas, la relajación se presenta en todos los tipos de agujeros y es así que estudios realizados en agujeros sobredimensionados la pérdida de pretensión en los pernos es de alrededor del 8%.(Kulak 2001).

### **2.11 Comportamiento de un perno antes de entrar en un estado limite de falla**

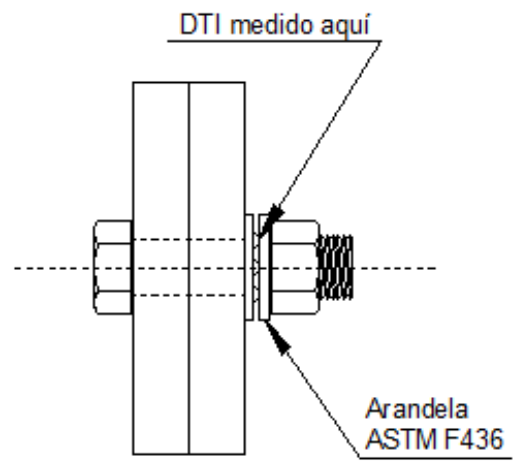
Toda la fuerza de fricción desarrollada por la precarga se denomina resistencia al deslizamiento. Si a la junta se le somete a una carga  $T$  como se indica en la figura 19, esta debe ser menor o igual a la resistencia al deslizamiento así:

$$T = F \leq S = \mu * B_0 * N_s \quad (1)$$

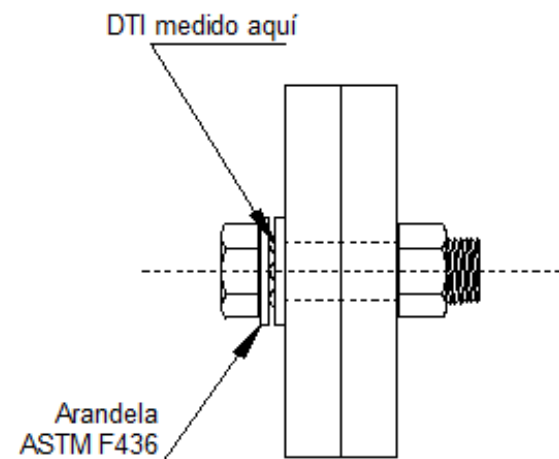
Donde:  $T$  es la fuerza axial aplicada a la junta;  $F$  es la Fuerza de fricción desarrollada;  $S$  es la resistencia al deslizamiento de la unión;  $\mu$  es el coeficiente de fricción estática;  $B_0$  es la precarga del perno;  $N_s$  es el número de superficies en contacto, este ultimo parámetro es incidente para aumentar la resistencia al deslizamiento, es así que si se tiene una junta a doble cortante, entonces la resistencia de deslizamiento es del doble al de una junta de cortante simple.



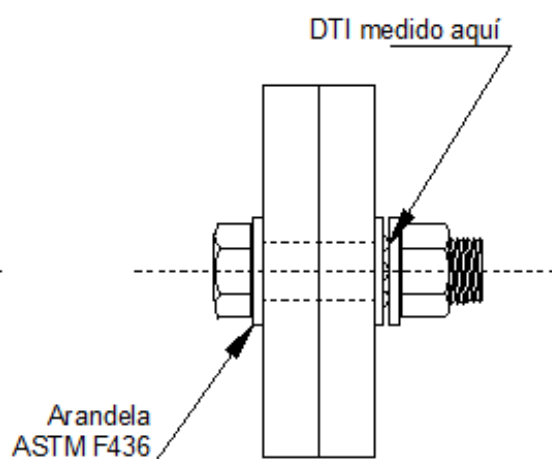
a) DTI debajo de la cabeza del perno, la tuerca es girada



b) DTI debajo de la tuerca, la tuerca es girada

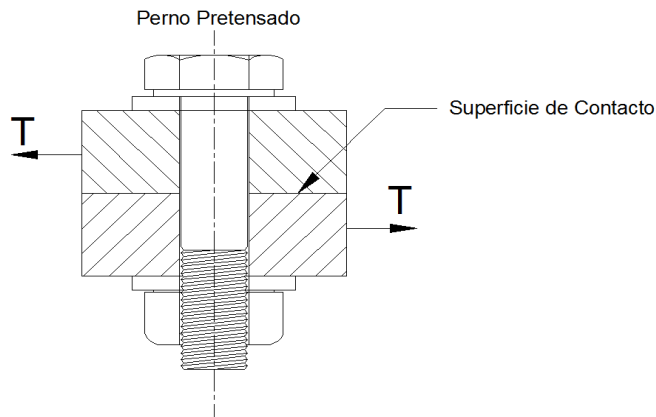


c) DTI debajo de la cabeza del perno, la cabeza es girada



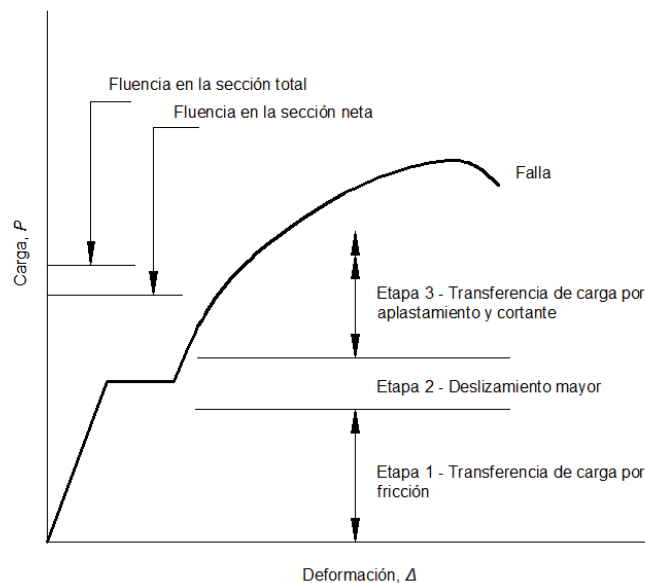
d) DTI debajo de la tuerca, la cabeza es girada

**Figura 18** Consideraciones para la instalación de DTI's F959 y arandelas F436 para el método DTI <sup>13</sup>



**Figura 19** Perno Pretensado y caga T aplicada

Al deslizamiento de la junta, esto hace que exista un pequeño deslizamiento entre las placas de la unión y sobre el plano de contacto, de esta manera las paredes de las placas estarán en contacto con el vástago del perno, este pequeño deslizamiento esta dentro del margen de holgura de los agujeros es decir 1/16" para agujeros STD, si al final la fuerza T se incrementa aún más, la transferencia de la carga entre las placas se realiza mediante cortante sobre el tornillo en la superficie de contacto entonces empiezan a aparecer los estados limites de falla de aplastamiento en las placas y de corte en el perno, la figura 20 indica el comportamiento descrito con anterioridad a través de la grafica Carga – Deformación. Las pruebas efectuadas al comportamiento de pernos indican que la carga a la que falla la unión es independiente del pretensado de los pernos o del coeficiente de fricción de las superficies en contacto.



**Figura 20** Gráfica Carga – Deformación para el comportamiento de carga de un perno a pretensión<sup>14</sup>  
 14 Estructuras de acero, comportamiento y LRFD, Vinnakota 2006

En la figura 20, se observa que existen tres etapas que caracteriza al comportamiento de pernos en su funcionamiento, la primera etapa es cuando se encuentra dentro del rango elástico, la segunda fluye y la tercera en cambio se enmarca dentro del rango plástico, las cuales son las etapas descritas anteriormente.

### 3. CONCLUSIONES

Los pernos de alta resistencia deben ser elegidos de manera tal que se asegure la respectiva junta, los pernos A325 y A490 del tipo 3 son los escogidos para las conexiones de puentes, los cuales son los óptimos para contrarrestar las consecuencias de la corrosión.

Una vez establecidas las solicitaciones de diseño, las cuales serán las responsables del diseño de las juntas empernadas, se debe establecer, el tipo de perno a utilizar, su grado, su agujero de alojamiento, y el método de instalación a utilizar.

La precarga en pernos tiene la finalidad de establecer, primeramente una resistencia de fricción en el grip, de tal forma que cuando ésta ceda, entonces sí el perno y la junta entren en los estados límites de falla respectivos.

Las conexiones de doble cortante hacen que se consiga el doble de la resistencia a la fricción que cuando se tiene una conexión de cortante simple.

La dureza en los pernos de alta resistencia debe ser considerada, ya que a una mayor dureza hace que la ductilidad del perno disminuya, y por ende las consecuencias de una posible fractura pueden ser evidentes.

Los métodos de instalación de pernos de alta resistencia indican que los valores mínimos de precarga deben ser los establecidos según las normativas de instalación, sin embargo un valor de precarga por encima al mínimo requerido asegura el éxito de la precarga y se tiene un margen para contrarrestar los efectos de la relajación, es así como el método DTI realiza una precarga con un excedente del 5% del mínimo el cual es muy recomendable para instalaciones.

El proceso de lubricación es de suma importancia en la instalación de los pernos, se requiere de un menor torque para la instalación si se elige especialmente el método de control de torque.

El método de giro de la tuerca es uno de los más confiables al momento de realizar las instalaciones de pernos de alta resistencia, sin embargo se debe tener presente que se requiere de una excelente habilidad del operario a fin de que pueda realizar las respectivas fracciones de vuelta a la tuerca, manejando obviamente las respectivas tolerancias de giro establecidas por las normativas vigentes.

El análisis previo y el conocimiento de la importancia de la precarga en los pernos de alta resistencia es el paso inicial para empezar con el diseño de conexiones, la cual es una de las partes fundamentales de las estructuras de acero.

Los estudios realizados a los pernos de alta resistencia y a su comportamiento involucran criterios estadísticos, realizados a lo largo del tiempo, con lo que en la actualidad el uso de técnicas y códigos de diseño referentes a este campo son parámetros confiables para ser utilizados en un determinado proyecto estructural.

### REFERENCIAS

1. ANSI/AISC 360-05, (2005), *Specification for Structural Steel Buildings*, Chicago, Illinois, Estados Unidos de América.
2. AISC LRFD, *Steel Construction Manual*, Décima tercera edición, Chicago, Illinois, Estados Unidos de América.
3. Vinnakota S.,(2006) *Estructuras de acero: comportamiento y LRFD*, Editorial McGraw-Hill, Primera edición en español, Traducida al español por McGraw-Hill.

4. RCSC (2004), *Specifications for Structural Joints Using ASTM A325 or A490 Bolts*, Chicago, Illinois, Estados Unidos de América.
5. Kulak G, Fisher J, Struik J, (2001), *Guide to Design Criteria for Bolted and Riveted Joints* , Chicago, Illinois, Estados Unidos de América.
6. Portland Bolt Company
7. Lessons From the Field — Lesson 1: A Torqued Bolt Isn't Necessarily a Tight Bolt By *Chris Curven, Field Bolting Specialist, Applied Bolting Technology*

# **IDENTIFICACIÓN DE LA NORMATIVA LEGAL AMBIENTAL APLICABLE AL PROYECTO COMPLEJO REFINADOR Y PETROQUÍMICO DEL PACÍFICO**

**Tiffany Denise Andrade Roche**

Universidad Simón Bolívar  
Caracas-Venezuela  
[tiffanyroche@gmail.com](mailto:tiffanyroche@gmail.com)

## **RESUMEN**

Ante la iniciativa de proceder a la construcción del Complejo Refinador y Petroquímico del Pacífico a construirse en el área de Mante, Provincia de Manabí, República del Ecuador, surge la obligación de recurrir a la revisión, análisis y aplicación de la normativa legal ecuatoriana que se pronuncia sobre la materia. Por ello es necesario un estudio pormenorizado del Reglamento Ambiental para Operaciones Hidrocarburíferas en El Ecuador (RAHOE), así como, de las regulaciones ambientales emitidas por los organismos de financiamiento internacional como las Guías sobre Medio Ambiente, Salud y Seguridad en al Refinación de Petróleo de la Corporación Financiera Internacional perteneciente al Grupo del Banco Mundial. En virtud de lo anterior, el Objetivo General concebido para la realización de este trabajo fue: Identificar de la normativa legal ambiental aplicable al Proyecto Complejo Refinador y Petroquímico del Pacífico, con el propósito de desarrollar una matriz resumida de las leyes y procedimientos en el ámbito nacional que permita conocer con claridad el camino crítico a seguir para obtener la Licencia Ambiental en un documento único. La importancia de trabajo está relacionada con su alcance; por un lado, permite tener una concepción holística de las normativas a cumplir y el cuándo y cómo cumplirlas. Por otro lado, se convierte en el cimiento sobre el cual reposan las acciones que direccionan éste y cualquier proyecto de ingeniería hacia el cumplimiento de su responsabilidad social y hacia la concepción de un verdadero desarrollo en términos de sostenibilidad. Como resultados destacados, se presenta la matriz legal con el procedimiento respectivo.

Palabras Clave: Ingeniería Ambiental, Desarrollo Sostenible, Responsabilidad Social, Licencia Ambiental, Productos Entregables.

## **ABSTRACT**

Due to the initiative to proceed with the construction of Pacific Refining and Petrochemical Complex in the area of Manta, Manabí Province, Republic of Ecuador, the obligation arises to review, analyze and apply the legal frame work that the Ecuadorian laws pronounce on this matter. Therefore it is necessary a detailed study of the Ecuadorean legal frame work which includes basically the Environmental Regulations for Hydrocarbon Operations in Ecuador (RAHOE), as well as environmental regulations issued by international financing agencies such as the Guidelines on Environment, Health and Safety in the Petroleum Refining Industry emitted by the International Finance Corporation which belongs to the World Bank Group. Under this fact, the General Purpose aimed as goal for the execution of this work was the identification of the environmental legal rules applicable to the Pacific Refining and Petrochemical Complex Project, in order to develop a summary matrix of laws and procedures inside the national framework, clearly designed to show the critical path to be followed for obtaining the Environmental License as a single authorization document to start the project's construction phase. The importance of this work is related to its scope, because on one hand, it provides a holistic understanding for the regulations to be met and when and how to fulfill them. And, on the other hand, it becomes the foundation upon which the actions will be based that would address these and any other engineering project to fulfill its social responsibility towards a very real



development in terms of sustainability. As outstanding results, this work presents the legal matrix with its respective procedure.

Keywords: Environmental Engineering, Sustainable Development, Social Responsibility, Environmental License Deliverables

## 1. INTRODUCCIÓN

Ante la iniciativa de proceder a la construcción del Complejo Refinador y Petroquímico del Pacífico, surge la obligación de recurrir a la identificación, revisión, análisis y aplicación de la normativa legal ecuatoriana que se pronuncia sobre la materia; Por tal motivo, era necesario elaborar una matriz que indicara los pasos a realizar para obtener la Licencia Ambiental cabe destacar, que la misma, está debidamente alineada con las leyes que en el ámbito global rigen la materia. Lo anterior, conforma una serie de acciones encaminadas a lograr el progreso, sin dejar de lado la necesidad y obligación de alcanzarlo sobre la base de un desarrollo sostenible que evidentemente, respete la armonía que debe existir entre las diversas variables que intervienen, y que por tanto, podrían verse afectadas.

La definición de la normativa legal aplicable al Proyecto Complejo Refinador y Petroquímico del Pacífico a construirse en el área de Manta, Provincia de Manabí, República del Ecuador exige un estudio pormenorizado del Reglamento de Industrialización de Hidrocarburos (RAHOE) emitido por el Gobierno de la República del Ecuador y las regulaciones ambientales emitidas por los organismos de financiamiento internacional como las Guías sobre Medio Ambiente, Salud y Seguridad en la Refinación de Petróleo de la Corporación Financiera Internacional perteneciente al Grupo del Banco Mundial. En el fondo, los reglamentos tanto nacionales como internacionales, pretenden preservar el medio ambiente, mediante la medición especialmente de la biodiversidad en la zona finalmente seleccionada para la instalación de una refinería de petróleo.

Ahora bien La ejecución de un proyecto de construcción de refinación de crudo tiene diferentes fases previas a la obtención de la Licencia Ambiental, éstas son: Estudio de Macrolocalización, Estudio de Visualización, Estudio de Determinación de la Línea Base Ambiental, Estudio de Conceptualización, Estudio de Impacto Ambiental y Aseguramiento del Financiamiento Internacional. De estas fases, el Estudio de Macrolocalización no estaba contemplado en las Guías de Gerencia para Proyectos de Inversión de Capital (GGPIC) de Petróleos de Venezuela, S.A. (PDVSA), pero fue ordenada por el Presidente de la República del Ecuador, Rafael Correa, al Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR); las demás fases se señalan en los GGPIC.

En este sentido, queda evidenciado que el documento base para ejecutar el proyecto son las guías ya mencionadas anteriormente. Al respecto, es importante referir que la fase VISUALIZAR de los GGPIC no considera los Estudios de Macrolocalización y la fase CONCEPTUALIZAR de los GGPIC no contempla el Estudio de la Línea Base Ambiental, así como tampoco, los Estudios de Impacto Ambiental y la Obtención de la Licencia Ambiental, fases que sí son exigidas en las leyes aplicables ecuatorianas. Las fases VISUALIZAR Y CONCEPTUALIZAR están claramente definidas en los GGPIC. La fase DEFINIR incluye claramente Elaborar el Diseño Básico, el cual, en otras palabras es lo mismo que el ESTUDIO DE INGENIERÍA BÁSICA. Por último, la fase de Aseguramiento del Financiamiento Internacional, también está claramente indicada en la fase de DEFINICION, cuando se señala Revisar Evaluación para Solicitar Fondos Propios y Financiamiento. Es conveniente destacar que las GGPIC son sólo guías, por lo tanto, tienen que ser enriquecidos por la experiencia propia de los especialistas en otros proyectos.

## 2. ASPECTO TEÓRICO

Una primera visión de la responsabilidad social de las organizaciones fue dirigida al ambiente; tal visión sobrevino en consecuencia de que muchos avances científicos si bien mejoraban la calidad de vida de personas e instituciones, en momentos, ocasionaban efectos negativos el ambiente, razón por la cual, no se trataba de desarrollo sostenible. Ahora bien, este enfoque ha trascendido en el tiempo; en tal sentido, en la actualidad, más allá de las situaciones ambientales que deben ser atendidas, esta responsabilidad debe estar dirigida hacia la solución de los diversos problemas sociales. Al respecto, Mondy y Noe (2005), refieren la Responsabilidad Social Corporativa, y destacan, que está relacionada:

Con la obligación implícita y forzosa que sienten los gerentes, actuando en su capacidad oficial, de servir o proteger a grupos distintos al de ellos mismos. Se refiere a la manera en que la empresa se comporta como un todo ante la sociedad. (p. 26).

Algunos autores califican esta tendencia como el hecho de que las organizaciones se vuelven "verdes"; ya en muchos países esta responsabilidad, se encuentra debidamente reglamentada y obedece al cumplimiento de legislaciones que se han desarrollado en la materia. La preocupación ahora, adquiere una dimensión amplia y considera un enfoque multifactorial, en el cual intervienen todas las variables que se presentan como producto de la interacción del hombre y de sus instituciones con el entorno; adicionalmente, considera las manifestaciones o posibles consecuencias que se puedan presentar tanto de manera inmediata, como en el futuro.

La situación previamente planteada está debidamente abordada en lo referente a la visión, misión y valores de la Refinería del Pacífico; esta filosofía de empresa, al igual, que la correspondiente a muchas empresas de la actualidad, muestra de manera explícita el compromiso y preocupación por el ambiente y por la sociedad. Tal situación, se muestra forma más marcada en el sector industrial, por ser éste, el que tradicionalmente ha ocasionado mayores daños en el ambiente.

En lo que respecta al Desarrollo Sostenible, cabe destacar que cuando se pretende abordar un cambio o un proyecto empresarial de cualquier naturaleza, debe estudiarse, igualmente, su impacto de una manera integral, tomando en consideración los factores individuales, sociales, económicos, políticos, y especialmente, los ecológicos; de esta manera, se puede propiciar el éxito futuro de la iniciativa, así como, su equilibrio en el contexto local y global.

Ahora bien, al hablar de desarrollo sostenible, vale la pena destacar que éste fue definido por primera vez por parte de la Comisión del Medio Ambiente y Desarrollo de las Naciones Unidas en el año 1987, al respecto el Portal de Desarrollo Sustentable (2008), expresa que se trata de como "aquél desarrollo que satisface las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades" ([http://www.desarrollosustentable.com.ve/Default.aspx?ID\\_Portal=1&ID\\_Page=8](http://www.desarrollosustentable.com.ve/Default.aspx?ID_Portal=1&ID_Page=8)). El enfoque del término sostenibilidad, ha sufrido cambios significativos a lo largo de los años y ha trascendido, al igual que la responsabilidad social, el aspecto ambiental, para posicionarse en un espectro más general que involucra múltiples variables. Así, se puede apreciar que en el Simposio sobre Ética y Desarrollo Sustentable (2002), un número considerable de personas se unieron en un esfuerzo para generar un documento denominado: Manifiesto por la vida. Por una ética para la sustentabilidad, en el mismo, aportan el siguiente concepto:

El concepto de sustentabilidad se funda en el reconocimiento de los límites y de las potencialidades de la naturaleza, así como en la complejidad ambiental, inspirando una nueva comprensión del mundo para enfrentar los desafíos de la humanidad en el tercer milenio. El concepto de sustentabilidad promueve una nueva alianza naturaleza-cultura fundando una nueva economía, reorientando los potenciales de la ciencia y de la tecnología, y construyendo una

nueva cultura política fundada en una ética de la sustentabilidad—en valores, en creencias, en sentimientos y en saberes— que renueva los sentidos existenciales, los mundos de vida y las formas de habitar el planeta Tierra. (<http://www.scielo.br/pdf/asoc/n10/16893.pdf>).

Es pertinente entonces, incluir lo relativo a la Ingeniería Ambiental, la cual combina los aspectos abordados previamente, en tanto que la acción de ésta se fundamenta en el cumplimiento de la Responsabilidad Social y en el compromiso de fomentar el Desarrollo Sostenible. En tal sentido, se habla en el ámbito mundial de la necesaria administración ambiental, la cual, prevé, entre otros detalles de un aprovechamiento sostenible de los recursos, protección de áreas naturales; a tales efectos, y como instrumento contralor, están previstas las auditorías ambientales que están orientadas a velar por la calidad ambiental y la conservación de los recursos. Evidentemente, para tales fines es necesario realizar inversiones, las cuales tienen que ver con el costo ambiental requerido para mantener las cuentas patrimoniales y evitar cualquier incidencia que pudiera ocasionar daños ambientales y sociales; es decir, estas inversiones, persiguen fomentar acciones que garanticen el respeto de los derechos ambientales colectivos.

En el momento de concepción y desarrollo de un proyecto de ingeniería, y en general, de cualquier proyecto dentro del sector industrial, es imprescindible, considerar el impacto global tanto en el ambiente, como en la sociedad; de allí la importancia de estimar la incidencia que el mismo tendrá en la biodiversidad de la zona y en el ecosistema en general. Para tales fines, se requiere encaminar una gestión ambiental que cuente con los respectivos estudios de impacto y con la evaluación correspondiente. En el ámbito legal a tomar en cuenta en la ingeniería ambiental, en primer lugar se garantiza la información ambiental necesaria, al mismo tiempo, se especifican los instrumentos de gestión que garanticen la eficiencia del proceso. Algunas leyes, también ofrecen una serie de incentivos que fortalecen el cumplimiento normativo; igualmente, propician la legitimación, que tiene que ver con el derecho explícito de personas y colectivos a presentar reclamos cuando sientan que el progreso industrial pudiera afectar la calidad de vida.

Efectivamente, el cumplimiento de una serie de aspectos relacionados con el ordenamiento territorial, la asertiva selección de la zona de construcción, la garantía de preservación de la naturaleza, la selección de tecnologías alternativas, e incluso, el compromiso de fomentar el mejoramiento de regiones, son elementos básicos a considerar por parte de los diversos subsistemas de gestión ambiental, en el momento de otorgar la Licencia que permite a determinada empresa materializar el proyecto correspondiente.

El cumplimiento de los aspectos legales, soportados evidentemente en una plataforma de ingeniería y gestión, conducen a la obtención de la Licencia Ambiental. La ejecución de un proyecto de construcción de refinación de crudo tiene diferentes fases previas a la obtención de la Licencia Ambiental, las cuales, se encuentran especificadas en las GGIPC. Al respecto, en la primera fase, se realiza el estudio de Macrolocalización, el cual, según la Facultad de Economía de la Universidad Nacional Autónoma de México. (s/f), “se refiere a la ubicación de la macrozona dentro de la cual se establecerá un determinado proyecto” (p. 54). En este sentido, Adler, M. (s/f). señala que este estudio se debe realizar considerando todos los factores que afectan la decisión. En el caso de la instalación de una planta industrial se podrían tomar los siguientes: “Materia Prima, Mano de Obra, Energía Eléctrica, Combustibles, Agua, Mercado, Transporte, Condiciones Climáticas, Eliminación de Efluentes, Protección contra Incendios y otros Peligros, Vigilancia y Seguridad, Impuestos, Legislación Laboral” (p. 2). En el caso concreto de este proyecto, la región seleccionada fue la costa del Pacífico de la República del Ecuador. Esta fase se ejecutó durante el año 2008.

Ahora bien, en la segunda fase, se realiza el Estudio de Visualización, mediante el cual de determina la factibilidad técnica, económica y financiera del proyecto, mediante el análisis de varias configuraciones de refinación, analizadas con programación lineal. Esta fase se inició en el primer trimestre del año 2008 y terminó en Noviembre de 2008. En la tercera fase se lleva a cabo el Estudio de Determinación de la Línea Base Ambiental. En este estudio, se obtiene

información de aspectos físicos, biológicos, socioeconómicos y culturales correspondientes al área de influencia directa e indirecta del proyecto. Esto permite evaluar y cuantificar los probables impactos ambientales, negativos o positivos, que son atribuibles o derivados de las actividades del mismo. Esta fase concluyó en Septiembre de 2010. El Estudio de Conceptualización, se realiza en la cuarta fase; en este sentido, en el proyecto de la Refinería del Pacífico se analiza en mayor detalle y profundidad las tres mejores configuraciones de refinación, arrojadas por el estudio de visualización, seleccionando finalmente la configuración más óptima, basados en criterios técnicos, económicos y financieros. Esta fase finalizó en Julio de 2010.

Seguidamente, en la quinta fase, se efectúa el Estudio de Impacto Ambiental, el cual, permite identificar los elementos ambientales potencialmente afectados por la implementación del proyecto. Además, se debe realizar la descripción del ámbito espacial donde se pretende insertar el proyecto y su área de influencia. Asimismo, es necesaria la realización de la descripción de las obras y actividades del proyecto y de los cambios que cada una de ellas son capaces de ocasionar en el ambiente. Por último, se debe realizar una propuesta de las actividades que permitan dar seguimiento a la ejecución de las actividades previstas en cada una de las fases del proyecto, así como la implantación del programa de seguimiento. Actualmente esta etapa se encuentra en ejecución y terminará en Octubre 2011.

En la sexta fase se lleva a cabo el Estudio de Ingeniería Básica, la cual, se encuentra en proceso de desarrollo, y en ella se definen ya las características de todos los equipos de todas las plantas de proceso, auxiliares y de servicios industriales de una refinería. Esta fase concluirá en Agosto 2011. La séptima fase, consiste en el Aseguramiento del Financiamiento Internacional. Los resultados arrojados por el Estudio de Visualización y confirmados por el Estudio de Conceptualización permiten iniciar los trámites internacionales de financiamiento del proyecto para su fase de construcción. Estos estudios y tramitaciones están actualmente en ejecución. Por último, es conveniente destacar que la decisión final de ejecución del proyecto se basa en dos factores principales: financiamiento asegurado y Licencia Ambiental. En consecuencia, la descripción del proceso para obtener la licencia ambiental por parte del Ministerio del Ambiente de la República del Ecuador, es un requisito indispensable y prioritario para tomar la decisión final de ejecución del proyecto de la nueva refinería.

### **3. ASPECTO LEGAL**

De acuerdo con los objetivos propuestos, se revisaron y analizaron los siguientes instrumentos legales:

- Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador.
- Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente
- Ley de Hidrocarburos del Ecuador

Ahora bien, un cambio legal reciente, permitió incluir otra ley:

- Ley Reformatoria a la Ley de Hidrocarburos

Cabe destacar que la anterior ley era del año 1978, con ciertas modificaciones incluidas años después; pero, el 27 de Julio de 2010, se aprobó por Decreto Presidencial, la Ley Reformatoria.

En todo caso, estas leyes, unidas a otras normativas, manuales y lineamientos, conforman el marco legal que rige el desarrollo y destino próximo del proyecto de la Refinería del Pacífico. En tal sentido, continuación se presenta a grandes rasgos el ámbito de operación de cada una de las citadas leyes

Con respecto al Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador, éste en su Artículo 1, señala lo siguiente:

Ámbito.- El presente Reglamento Ambiental y sus Normas Técnicas Ambientales incorporadas se aplicarán a todas las operaciones hidrocarburíferas y afines que se llevan a efecto en el país.

El presente Reglamento tiene por objeto regular las actividades hidrocarburíferas de exploración, desarrollo y producción, almacenamiento, transporte, industrialización y comercialización de petróleo crudo, derivados del petróleo, gas natural y afines, susceptibles de producir impactos ambientales en el área de influencia directa, definida en cada caso por el Estudio Ambiental respectivo.

Por su parte el Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, se encuentra integrado por un total de nueve libros, entre los cuales, destacan, el Libro I, que especifica que la autoridad ambiental recae en el Ministerio del Ambiente. El Libro II que refiere lo correspondiente al desarrollo sostenible y a la descentralización de la actividad ambiental. Los Libros IV, V y VI, plantean lo correspondiente al cuidado de la biodiversidad, recursos costeros y calidad ambiental. Los restantes Libros abordan actividades más específicas, como las relacionadas con aspectos forestales y eléctricos. En este Texto unificado, es interesante resaltar lo contenido en su Artículo 1, que especifica que el Ministerio del Ambiente, como máxima autoridad se encargará de:

Dirigir la gestión ambiental, a través de políticas, normas e instrumentos de fomento y control, para lograr el uso sustentable y la conservación del capital natural del Ecuador, asegurar el derecho de sus habitantes a vivir en un ambiente sano y apoyar la competitividad del país.

Es importante también indicar que en su Artículo 3, refiere lo respectivo a sus objetivos, los cuales son:

- a. Formular, promover y coordinar políticas de Estado, dirigidas hacia el desarrollo sustentable y la competitividad del país;
- b. Proteger el derecho de la población a vivir en un ambiente sano; y,
- c. Asegurar la conservación y uso sustentable del capital natural del país.

En cuanto a la Ley de Hidrocarburos del Ecuador, en su Artículo 2 explica que:

El Estado explorará y explotará los yacimientos señalados en el artículo anterior en forma directa a través de PETROECUADOR la que podrá hacerlo por si misma o celebrando contratos de asociación, de participación, de prestación de servicios para exploración y explotación de hidrocarburos o mediante otras formas contractuales de delegación vigentes en la legislación ecuatoriana. También podrá constituir compañías de economía mixta con empresas nacionales y extranjeras de reconocida competencia legalmente establecidas en el País.

Lo anterior, valida legalmente, la conformación de empresas mixtas con el Estado Venezolano, como es el caso de PDVSA-ECUADOR. Pero en materia ambiental, existen algunos apartes de esta ley que se pronuncian al respecto, tal situación se aprecia en el Artículo 31, literal "s":

Presentar para la aprobación del Ministerio del Ramo los planes, programas y proyectos y el financiamiento respectivo para que las actividades de exploración y explotación no afecten negativamente a la organización económica y social de la población asentada en las áreas donde se realicen las mencionadas actividades y a todos los recursos naturales renovables y no renovables locales. Igualmente, deberá planificarse los nuevos asentamientos poblacionales que fueren necesarios. Para la antedicha aprobación el Ministerio del Ramo contará con los informes de los organismos de desarrollo regional respectivos y del Ministerio de Bienestar Social.

Ahora bien, Ley Reformativa a la Ley de Hidrocarburos, básicamente, presenta una serie de observaciones y agrega ciertos incisos en algunos artículos, manteniendo lo relacionado con la necesidad de auditar las actividades hidrocarburíferas.

Otra ley de singular importancia, por su componente conceptual es la Ley de Gestión Ambiental, la cual refiere en sus Artículos 1 y 2, lo siguiente:

Art. 1.- La presente Ley establece los principios y directrices de política ambiental; determina las obligaciones, responsabilidades, niveles de participación de los sectores público y privado en la gestión ambiental y señala los límites permisibles, controles y sanciones en esta materia.

Art. 2.- La gestión ambiental se sujeta a los principios de solidaridad, corresponsabilidad, cooperación, coordinación, reciclaje y reutilización de desechos, utilización de tecnologías alternativas ambientalmente sustentables y respecto a las culturas y prácticas tradicionales.

Como puede apreciarse, esta ley enfatiza, la necesidad de establecer políticas ambientales orientadas a generar acciones conscientes, responsables y comprometidas que garanticen que las empresas incluyan en sus proyectos de industrialización lo correspondiente a la concepción sostenible del desarrollo.

#### **4. IDENTIFICACIÓN DE LA NORMATIVA LEGAL AMBIENTAL APLICABLE AL PROYECTO COMPLEJO REFINADOR Y PETROQUÍMICO DEL PACÍFICO**

##### **4.1. Revisión de los Términos de Referencia (TDR) aplicados en los Estudios de la Línea Base Ambiental y los aprobados para realizar los Estudios de Impacto Ambiental (EIA), así como la Revisión del Primer Producto Entregable de EIA**

Esta revisión se puede observar en el Cuadro 1 titulado Análisis comparativo entre ELBA, EIA Y PE1 del EIA; cabe destacar que resulta de suma importancia, tanto para entender la diferencia entre el alcance del ELBA y del EIA, como para analizar el trabajo realizado en EIA. En este punto de la discusión de resultados, se revisan los Términos de Referencia del Estudio de Impacto Ambiental. De igual manera, se identifican los Productos Entregables de la Fase 1 del Estudio de Impacto Ambiental.

La comparación se realizó sobre la base de los Objetivos Generales y los Objetivos Específicos, y tanto para el ELBA como para la EIA. Los objetivos son distintos pero pueden coincidir en algunos instantes. El objetivo básico del ELBA es tener una fotografía instantánea de la realidad ambiental actual de zona de influencia del proyecto, a fin de que no se acuse después, tanto en la fase de construcción como en la fase de operación de la refinería, que se ha destruido el medio ambiente. El ELBA sirve también para delinear políticas futuras en educación, salud y vivienda, cuando la refinería entre en las etapas de construcción y operación. El Estudio de Impacto Ambiental indica las emisiones sólidas, líquidas y gaseosas que se producirán en la operación de la refinería y advierte con respecto a la manera de mitigarlas o compensarlas.

Ahora bien, de acuerdo a lo observado en el Cuadro 1, se puede señalar que comparando los Productos Entregables del ELBA con los del EIA, se evidencia que el ELBA es mucho más amplio y extenso porque el ELBA considera 54.900 hectáreas de estudio en tierra y 44.200 hectáreas en mar, mientras que el EIA solo abarca a las 10.000 hectáreas del sitio finalmente escogido, de las cuales 500 hectáreas son sólo para la construcción de la refinería y las otras 9.500 hectáreas son el área de amortiguamiento.

Es importante señalar, que el ELBA tiene cinco componentes claramente definidos (Oceanografía y clima, Estudios geológicos, Ductos, Estudios socio-económicos y Biodiversidad), cada uno con sus respectivos Productos Entregables, algunos de los cuales podrían coincidir en parte con los Productos Entregables del EIA. Por último, los Productos Entregables 1 del EIA son relacionados básicamente con Biodiversidad. Además, para el Estudio de Impacto Ambiental se requieren los Estudios de Ingeniería Básica, ya que ellos brindan las emisiones de cada equipo en operación.

#### **4.2. Compilación y análisis de la normativa ambiental vigente en la República del Ecuador (Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente TULAS, Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas en Ecuador RAHOE y Ley de Hidrocarburos del Ecuador LHE)**

En este punto, se presentan cuadros 2, 3 y 4; el primero de éstos muestra lo correspondiente al resumen de los aspectos más destacados del TULAS; el Cuadro 3, presenta de manera análoga lo correspondiente al RAHOE, y finalmente, el Cuadro 4 propone una Guía Metodológica para los Estudios de Impacto Ambiental, debidamente soportado en los instrumentos legales analizados. En lo referente a este punto, el objetivo es presentar un resumen de la Normativa Legal ecuatoriana, con el propósito de crear la base teórico-legal que facilite la formulación de una guía con los pasos necesarios para obtener la Licencia Ambiental.

De esta manera, se analiza la Permisología Legal ecuatoriana aplicable al Proyecto Complejo Refinador y Petroquímico del Pacífico. Evidentemente, este es un paso previo para alcanzar lo que representa el fin último del presente trabajo que se refiere a la elaboración de la Matriz final del proceso legal para la obtención de la LICENCIA AMBIENTAL.

El Cuadro 2, presenta el detalle del Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente; para cumplir con esta actividad, se resumió lo referente al TULAS, para lo cual, se procedió de la siguiente manera: se construyó un cuadro de nueve columnas que sintetiza los detalles significativos, en éste, se identificó lo relativo los aspectos regulados (agua, suelos y aire). Para cada uno de estos recursos se estableció una asociación entre los diversos Libros y Artículos del TULAS que lo refieren y el correspondiente tema ambiental que regulan; por ejemplo: Aguas Industriales para el recurso agua, Suelos Contaminados para el recurso suelo, o Límites Máximos permisibles para emisiones de la refinería al recurso aire.

Luego, teniendo desglosados los diferentes temas ambientales se ubicaron los límites de control, las evidencias por cumplir y la frecuencia de medición para cada uno de ellos. Finalmente, se estableció la correspondencia necesaria entre los temas ambientales y las instancias encargadas de vigilar el cumplimiento de la normativa; además, se agregó una columna denominada Observaciones, en la cual, se presentan detalles de interés a ser tomados en consideración para los temas ambientales identificados.

Este cuadro es de gran importancia en tanto que presenta de manera sencilla, resumida y concreta, un texto de la normativa legal ecuatoriana que es bastante denso; de esta forma, el equipo de ingeniería correspondiente, puede acceder a los detalles legales sin invertir tiempo buscando los detalles de interés de esta ley para la ejecución del proyecto.

El Cuadro 3, por su parte, exhibe los detalles del Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas en Ecuador RAHOE, se procedió de manera análoga. También, se dispuso de un cuadro de nueve columnas denominadas de igual manera que en el cuadro precedente; la variación tiene que ver con los aspectos regulados, los cuales, para efectos de esta normativa son los siguientes: disposiciones aplicables generales (relacionadas con diversos temas ambientales, como: autoridad, presupuesto, informes, desechos, manejo de productos químicos y manejo de crudo y combustibles, entre otros aspectos). Adicionalmente, entre los aspectos regulados figuran para efectos de este reglamento: Manejo y tratamiento de descargas

líquidas, Facilidades de refinación y lo referente a Oleoductos y poliductos. Evidentemente, cada uno de estos aspectos regulados, tienen su correlación con el artículo que lo delimita, así como con el tema ambiental, el límite de control, las evidencias por cumplir, la frecuencia de medición, la instancia responsable y otra serie de observaciones de interés.

En lo que respecta a la Ley de Hidrocarburos del Ecuador, el estudio y revisión de la misma, requirió un análisis más exhaustivo. En primer lugar, se consultó el Artículo 40 del RAHOE, el cual, hace referencia a una Guía Metodológica y señala que “en la elaboración de los Estudios de Impacto Ambiental se aplicarán de conformidad con las características de cada proyecto y de la fase de operación de que se trate, los siguientes criterios metodológicos y guía general de contenido”. Estos criterios son los siguientes:

- Ficha técnica
- Introducción
- Diagnóstico Ambiental – Línea Base

#### Descripción de las Actividades del Proyecto

- Determinación de Áreas de Influencia y Áreas Sensibles
- Identificación y Evaluación de Impactos
- Plan de Manejo Ambiental
- Plan de Monitoreo
- Anexos

Los mencionados criterios fueron utilizados como insumos para crear la Guía Metodológica correspondiente y forman parte de la primera columna del Cuadro 4, que presenta el resumen de la Ley de Hidrocarburos del Ecuador; cabe destacar que esta última en su artículo 31, expresa que “PETROECUADOR y los contratistas o asociados, en exploración y explotación de hidrocarburos, en refinación, en transporte y en comercialización, están obligados, en cuanto les corresponda, a lo siguiente:” y como continuación de ese artículo presenta una serie de literales del “a” al “u”, referidos en su gran mayoría se refieren a la conservación y protección del medio ambiente, adicionalmente, son de obligatorio cumplimiento.

Para efectos del Cuadro 4, la Ficha Técnica resume datos generales de la Consultora que ejecuta el EIA. La Introducción detalla lo que se ejecutará. El Diagnóstico Ambiental o Línea Base Ambiental, describe el alcance que debió tener el ELBA, que efectivamente si lo tuvo, con excepción del componente Oceanográfico. Así, por ejemplo el Medio Físico, incluye geología, geomorfología, hidrología, climatología, tipo de suelos, uso de los suelos, calidad de aguas y paisaje natural. Las cuatro fases siguientes: Descripción de las Actividades del Proyecto, Áreas de Influencia y Áreas Sensibles, Identificación y Evaluación de los Impactos y Técnicas de Evaluación y Valoración de los Impactos, incluyen las actividades a realizarse específicamente en cada una de ellas.

Lo que deberá desarrollarse una vez identificados y valorados los impactos, será el Plan de Manejo Ambiental y el Plan de Monitoreo. El primero de ellos tiene cinco subfases: Descripción General, Prevención y Mitigación, Contingencias, Riesgos y Planes y Programas. Sobre la base del análisis de la literatura disponible, podría decirse que los Planes y Programas, representa la subfase más importante ya que está relacionada directamente con los beneficios y



compensaciones que recibirán los habitantes del lugar donde se asentará la nueva refinería. Por su parte, el Plan de Monitoreo tiene dos subfases muy destacadas relacionadas con la operación de la refinería: Control Ambiental y Control Comunitario. Por último los Anexos Requeridos, constituyen la información gráfica de sustento que se entregará a la autoridad ambiental y a la comunidad, para que se emitan las observaciones y aprobaciones respectivas, que permitan alcanzar finalmente la Licencia Ambiental.

De esta manera, el cuadro presenta un resumen de los aspectos significativos de la LHE, utilizando como marco referencial, los criterios de la Guía Metodológica referidos por el RAHOE.

#### **4.3 Definición de los pasos necesarios para obtener la Licencia Ambiental y estimación del tiempo requerido**

Luego de toda la revisión de la teoría y de la normativa legal que sirve de marco al aspecto ambiental del Complejo Refinador y Petroquímico del Pacífico, se dispone de todo el conocimiento requerido para establecer la ruta crítica que posibilite la obtención de la Licencia Ambiental. Esto con el propósito de Elaborar la Matriz final del proceso legal para la obtención de la LICENCIA AMBIENTAL. Para tales efectos, se desarrolló el Cuadro 5 denominado "Definición de los pasos necesarios para obtener la Licencia Ambiental y estimación del tiempo requerido". Este cuadro es de suma importancia, ya que si se omite o se olvida cualquier paso o aspecto no se podrá lograr obtener la LICENCIA AMBIENTAL, condición para proceder a la construcción del proyecto.

El cuadro mencionado, representa la secuencia de pasos a seguir con el propósito de alcanzar la Licencia Ambiental, siendo ésta, la condición fundamental a cumplir a efectos de proceder a la ejecución del proyecto. Al respecto, vale la pena destacar que las dos actividades iniciales indicadas en el cuadro, ya se cumplieron y éstas son: Certificado de Intersección SNAP (Certificado de Intersección del Servicio Nacional de Áreas Protegidas) –BP (Bosque de Pacoche) -PFE (Plan Forestal del Ecuador) y la entrega de los Términos de Referencia. Cabe destacar que estos dos ítemes tienen un peso del 25%. Lo referente al Certificado de Intersección, es de suma importancia, en tanto que una vez seleccionado el sitio de la refinería, se tiene que verificar que éste no colinde con parques nacionales, áreas protegidas, áreas de reserva ecológica, o cualquier otra área que deba ser resguardada. El certificado es emitido por el Ministerio del Ambiente. Ahora bien, en cuanto al ítem 3: Estudio de Impacto Ambiental, éste, se encuentra en la fase de Búsqueda de Información, Trabajo de Campo y Elaboración del Borrador.

Continuando con la explicación del cuadro, se puede decir que cada columna está identificada de la siguiente manera: Fases, Peso de la Fase, Subfase, Subpeso de la Fase, Porcentajes Individuales y de Grupo, Actividades Principales, Horas Hombre por Fase y por Subfase. Las fases son cuatro:

- Certificado de Intersección del Servicio Nacional de Áreas Protegidas (SNAP), Bosque de Pacoche (BP) y Plan Forestal del Ecuador (PFE). Este certificado ya se obtuvo y permite definir si la nueva refinería se encuentra o no dentro de un parque nacional, una zona protegida, etc.
- Términos de Referencia para el Estudio de Impacto Ambiental; al respecto, ya se cumplieron todas las subfases y la autoridad de control (Ministerio del Ambiente) aprobó los Términos de Referencia, sin dicha aprobación, no se hubiera podido contratar el EIA.
- El Estudio de Impacto Ambiental propiamente dicho, con respecto al cual, sólo se ha cumplido la primera actividad principal: Búsqueda de Información, Trabajo de

Campo y Elaboración del Borrador. Es conveniente indicar que la Elaboración del Borrador se está realizando.

- Licencia Ambiental, es la cuarta de las fases y representa el fin último, en tanto que este documento, una vez obtenido permitirá proceder a la construcción de la refinería.

Con relación al cálculo de los tiempos, vale destacar que PDVSA ECUADOR, dispone de una matriz y de una tabla de clasificación de personal y el histograma de horas hombre del personal asignado. Con estos formatos se hacen las estimaciones correspondientes. En todo caso, para facilitar la lectura de este cuadro, se procede a proporcionar mayores detalles; si se toma la fila correspondiente al Certificado de Intersección y se cruza con todas las columnas, la lectura sería la siguiente:

- La siguiente columna, denominada Peso Ponderado de la Fase, arroja el valor de "5", si este valor se suma a los restantes pesos ponderados de las fases debe obtenerse un valor de "100". Estos valores de ponderación, de cada fase, son producto de la experiencia de los gerentes en el manejo de los diversos proyectos de ingeniería que han ejecutado. De alguna manera reflejan tanto su importancia, como el tiempo que requiere su ejecución.
- Luego se dispone de la columna "Subfases", la cual presenta las diferentes actividades que deben ser realizadas, con el propósito de culminar cada una de las fases. En este caso en particular, las subfases serían: Tramitología y Certificado.
- Continuando a la próxima columna, se observa el valor de "40" asociado a la Tramitología, y el valor de "60" asociado al Certificado. Esta valoración, también tiene que ver con niveles de dificultad; es de importancia señalar que la sumatoria del subpeso, para cada una de las subfases debe dar como resultado "100".
- Hacia la derecha, aparece otra columna que presenta los Pesos Relativos de cada subfase, con un valor de 100 para cada subfase considerada. Esto se hace así para obtener los valores ponderados totales para cada actividad principal.
- La siguiente columna ofrece un valor de 0,02, el cual, representa el Valor Ponderado Final de la Actividad "Tramitología en Ministerio Ambiente". Representa el resultado del producto de  $0.05 \times 0.40 \times 1 = 0.02$ . Si todo viene funcionando bien la suma de los valores de toda esta columna debe dar 1,00.
- La próxima columna, presenta un valor de 0,05, el cual, es el resultado de la suma de  $0,02 + 0,03 = 0,05$ , representando éste, el Peso Ponderado de la Fase "Certificado de Intersección".
- Continuando con el análisis hacia la siguiente columna, se presenta lo siguiente: "Tramitología en el Ministerio de Ambiente". Esto tiene que ver con la Descripción de la Actividad Principal.
- La penúltima columna, ofrece un valor de 1.250, correspondiente al número total de horas hombre utilizadas para la Fase descrita.
- Por último, se dispone de una columna que presenta el valor en horas hombre para las subfases que integran la fase. De esta manera se estiman las HH requeridas, los profesionales necesarios y el tiempo para obtener la LICENCIA AMBIENTAL. Es importante porque permite evaluar su costo estimado y el tiempo calendario requerido para obtenerla.

- Como cierre del cuadro, se precia en la última línea Totales - Suma Total de Factores y Montos Totales.

Es de suma importancia destacar que las ponderaciones asociadas a las diferentes fases y subfases descritas para la obtención de la licencia ambiental, surgen como resultado del trabajo en conjunto entre los Ingenieros Especialistas del proyecto y las observaciones que emite la Autoridad de Control, representada por el Ministerio del Ambiente del Ecuador. Para el desarrollo del cuadro, tal cual, se presenta, fue necesario recabar información de los Especialistas en la materia; al respecto es imprescindible acotar, que si bien, se puede observar que la mayor parte de las sumatorias de las ponderaciones de las subfases arrojan un valor de 100, esto no se cumple en el caso de las siguientes fases: Certificado de Intersección y Licencia Ambiental.

La explicación de esto reside en el hecho de que la Autoridad de Control, se reserva el derecho de solicitar una ponderación mayor, en virtud de la importancia que considere se le debe atribuir a ciertas subfases; en tal sentido esta instancia gubernamental, podrá aumentar o disminuir los pesos relativos asignados a cada actividad. Este es el caso de las dos primeras y de las tres últimas actividades, que se decidió ponderarlas en 100 a cada una de ellas, por la mayor importancia relativa que tienen ellas en relación con las otras actividades.

Ahora bien, lo importante de estas valoraciones y ponderaciones, que resultan de un proceso de estimación, es que la relación entre las sumas totales de ellas proporcionen un número entero, sin decimales. En efecto, si se suman todas las cantidades de la columna de la derecha del rubro subpesos, se obtiene un valor de 1200, y para la columna de la izquierda un valor de 400. La división de ambos, arroja como resultado 3. Esto significa que los pesos relativos de la columna de la derecha, han recibido una ponderación tres veces mayor que los pesos relativos de la columna de la izquierda. Finalmente, lo importante es que en la columna de los porcentajes, ambas ofrezcan como resultado un total de 1.00, como efectivamente ocurre.

En resumen, se puede apreciar que el fondo en la elaboración de este cuadro, es establecer ponderaciones sobre la base de la experiencia, establecer acuerdos al respecto con el equipo de Especialistas involucrados en el proyecto. Finalmente, estos resultados se someten a la consideración del Gerente de Área y las ponderaciones finales, surgen de los acuerdos que se establezcan con la Autoridad de Control.

## **5. CONCLUSIONES**

Una vez concluido el estudio, revisión y análisis de la teoría y de la normativa legal asociada con el Complejo Proyecto Refinador y Petroquímico del Pacífico, surgen una serie de planteamientos de interés; éstos, permiten posicionar las actividades desarrolladas en un contexto de adquisición de aprendizaje y de experiencia en el área de ingeniería, y más específicamente, en lo que respecta al aspecto ambiental.

Es conveniente iniciar las conclusiones comentando lo referente a la Línea Base Ambiental, la cual, representa un estudio que permite determinar la situación actual del área donde se construirá la refinería, en cada uno de los cinco componentes estudiados: Oceanografía y Clima, Estudios Geológicos, Ductos, Estudios Socio Económicos y Biodiversidad. Al respecto, lo relacionado con la biodiversidad, es un aspecto de especial interés, ya que por un lado, podría existir algún impacto negativo; no obstante, no debe soslayarse el hecho de que la operación de la refinería, favorecería los índices socio económicos. Lo anterior, indica que un proyecto como estos, trae ventajas y desventajas, pero obviamente las primeras, tienen que estar relacionados con el ser humano principalmente, pero sin descuidar los ecosistemas, que al ser modificados tendrían un impacto negativo en las personas. El estudio de biodiversidad se puede considerar el componente más importante del ELBA.

Lo referente a la Oceanografía, que estudia básicamente el cómo podría afectarse la riqueza ictiológica de la zona que es muy notable, por cuanto en ese sector convergen las corrientes de aguas cálidas de El Niño que vienen del norte, con las aguas frías de la corriente de Humboldt que vienen del Polo Sur, y también, con las aguas que vienen de la Cuenca del Pacífico, especialmente de Asia. Lo comentado, explica la razón de la existencia de tanta riqueza de vida en las Islas Galápagos; en tal sentido, si la operación indebida de la refinería alterara el equilibrio existente, se podría ver afectado el archipiélago de Galápagos. Cabe destacar como argumento preocupante, que la refinería tomará agua de mar, la desalinizará en una planta desalinizadora, y hasta ahora, no se sabe cuál será el destino de la sal que quedará como residuo de operaciones. Sin embargo, debe enfatizarse que entre los controles ambientales se ha considerado que ningún efluente líquido llegará al mar sin tratamiento previo.

En lo que respecta al Clima, la operación de la refinería podría afectar a los ecosistemas actuales, lo cual afectaría directamente el clima. El área de 10.000 hectáreas finalmente seleccionada la llaman bosque seco y húmedo; esto es debido a que durante el verano se transforma en una zona casi desértica en tanto que no llueve nada. A pesar de eso, en una muy poca porción, de esa área, (se estima que unas 1.000 hectáreas), se concentra una neblina durante todo el año y ésta trae humedad, lo cual representa un bosque húmedo. La idea es utilizar la zona de amortiguamiento de las 9.500 hectáreas, que ya pertenecen en gran parte a la refinería, para incentivar el cultivo de ciclos a corto, mediano y largo plazo; de esta manera, este proyecto podría contribuir a elevar los índices socio económicos de la zona

El Estudio Geológico es un aspecto eminentemente técnico, ya que básicamente se relaciona con sismografía y posibles riesgos operacionales. Aquí, se analizan las clases de suelos del área de estudio, el actual uso de la tierra y como utilizarla en el futuro.

Las rutas seleccionadas para los ductos, obviamente afectarán las zonas por donde pasarán, pero está previsto que sólo ocurra durante la etapa de construcción, ya que todos serán enterrados. Lo importante es que se construyan con alta calidad para impedir derrames y que existan las correspondientes válvulas de control a la entrada y a la salida de los centros poblados. Después de su construcción, la trocha de construcción tiene que ser totalmente reforestada con los mismos árboles y plantas antes de construcción. Por eso el estudio de biodiversidad es tan importante.

Es de vital importancia señalar que el Estudio de Línea Base Ambiental y el Estudio de Impacto Ambiental son complementarios, ya que ambos tratan temas comunes y tienen actividades similares. La diferencia entre ellos radica en el área de estudio; el ELBA abarca, para efectos de este proyecto en particular, 30.000 hectáreas en tierra y 40.000 hectáreas en mar. Por su parte, el EIA sólo abarca 10.000 hectáreas, precisamente, las que se atribuyen a la refinería. Puede resumirse la idea, señalando que el ELBA es más general, mientras que el EIA es más específico.

No cabe duda que todo proyecto, independientemente de que haya sido ejecutado siguiendo toda la normativa ambiental vigente en el ámbito regional y global, tendrá cierto impacto en su entorno. El acatamiento de las leyes en la materia, disminuye notablemente la afectación, pero siempre existen ciertas variables que se verán afectadas; además, surgen imprevistos, bajo la forma de accidentes, derrames, explosiones, y los inevitables, errores humanos (no debe olvidarse el impacto terrible del derrame petrolero ocurrido en el Golfo de México).

De acuerdo con lo anterior, podría afirmarse que naturalmente existirán impactos positivos y negativos; los negativos tienen que mitigarse o compensarse. Los impactos indirectos tienen que transformarse en positivos. Para eso servirá el Plan De Manejo Ambiental, el cual incluye los Planes de Prevención y de Mitigación Ambiental, además de un Plan de Contingencias en caso de que se produzcan derrames o situaciones anómalas en la operación de la refinería o de los ductos.

Ahora bien, los avances en materia tecnológica, permiten contar con Planes de Monitoreo bastante sofisticados, que permitirán controlar y medir las emisiones de líquidos, gases y restante material de desecho de la refinería. También favorecerán mantener estrecha supervisión de los diferentes procesos que se llevan a cabo; mediante tableros y zonas de control, se podrá sostener control permanente de válvulas, temperaturas, de los sistemas de protección catódica y demás indicadores de interés.

Otro detalle de trascendental importancia es el relacionado con los Planes de Capacitación al Personal, especialmente, en lo que respecta a la Salud Ocupacional, Seguridad Industrial, Manejo de Desechos; temas estos de gran interés y que se encuentran también regulados en el ámbito nacional e internacional, especialmente, por representar una alternativa confiable para preservar la seguridad de los trabajadores y comunidades, disminuyendo los riesgos implícitos en este tipo de industrias.

Desde un punto de vista más general, se pueden generar otras conclusiones con respecto al presente estudio; de hecho, si se observan los valores empresariales, se puede apreciar que éstos son de suma importancia en el abordaje de la responsabilidad social. Si bien es cierto que la empresa tiene como propósito producir e incrementar sus ganancias, debe recordarse, que tal propósito, debe alcanzarse sobre la base de los principios éticos que deben regir el negocio

La filosofía primaria de toda organización debería ser contar con un modelo de gestión que tomara en consideración los efectos que se derivan de su actividad empresarial. En tal sentido, se debe mantener estrecha observación con respecto a los posibles impactos en materia tecnológica, ambiental, política y social, entre otros aspectos. Una empresa socialmente responsable, debe entender que su acción trasciende la vida organizacional; razón por la cual, debe permanecer en contacto no sólo con sus empleados, sino con todos los grupos de interés hacia los cuales se extiende su acción organizacional. Al respecto, se puede apreciar que el Complejo Refinador y Petroquímico del Pacífico, exhibe, entre sus valores el siguiente: "Sociedad y el Ambiente – Primero lo primero".

La Responsabilidad Social, debería ser una acción voluntaria y espontánea por parte de la directiva de las diferentes empresas, por cuanto, de la expresión de la misma, se derivan beneficios hacia la sociedad que redundan de manera significativa en la organización. No obstante, debe entenderse que también se trata de una obligación sujeta a legislaciones locales, regionales e internacionales, razón por la cual, la empresa está llamada a permanecer vigilante de que toda su acción empresarial esté alineada con las necesidades de la sociedad en el ámbito global.

Todas las acciones de la empresa deben desarrollarse en total armonía y respeto con el entorno; de esta manera, no sólo apoya la sana ecología y mejora la calidad de vida de las personas, sino que adicionalmente, crea las bases sostenibles de su propia permanencia y desarrollo. La práctica responsable y sostenible de la acción empresarial es el punto de partida de la acción consciente y comprometida que minimizará o eliminará los impactos desfavorables de la gestión sobre la utilización de todo tipo de recursos. De esta manera se garantizará la habitabilidad del planeta para las futuras generaciones.

Cuadro 1

**PROYECTO COMPLEJO REFINADOR Y PETROQUÍMICO DEL PACÍFICO  
ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE ELBA, EIA Y PRIMER ENTREGABLE EIA**

| <b>ESTUDIO DE LÍNEA BASE AMBIENTAL (ELBA)</b>   |   |  |
|---|---|--|
| <b>COMPONENTE</b>   | <b>OBJETIVO GENERAL</b>   | <b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>   |
| <b>OCEANOGRAFÍA Y CLIMA</b>   | CARACTERIZAR LAS CONDICIONES OCEANOGRÁFICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO Y GENERAR INFORMACIÓN ADECUADA Y SUFICIENTE QUE PERMITA DEFINIR LAS ÁREAS DE FUNCIONAMIENTO DE MENOR RIESGO ECONÓMICO Y AMBIENTAL PARA LA INSTALACIÓN DE SU INFRAESTRUCTURA, SU DISEÑO CONCEPTUAL Y ELABORAR LOS ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL  | LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN PRIMARIA QUE SIRVA DE INSUMO PARA PROPONER ALTERNATIVAS DE UBICACIÓN DE LA NUEVA REFINERÍA<br>DETERMINACIÓN CARACTERÍSTICAS TOPOGRÁFICAS, GEOMORFOLÓGICAS, GEOLÓGICAS, GEOTÉCNICAS, SÍSMICAS, HIDROLÓGICAS E HIDROGEOLOGICAS<br>IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE RIESGOS TOPOGRÁFICOS, GEOMORFOLÓGICOS, GEOLÓGICOS, GEOTÉCNICOS, SÍSMICOS Y HIDROGEOLOGICOS   |
| <b>ESTUDIOS GEOLÓGICOS</b>  | RECOPIRAR, LEVANTAR Y ANALIZAR INFORMACIÓN SECUNDARIA Y PRIMARIA DEL ÁREA DE ESTUDIO DEL PROYECTO Y ELABORAR LOS ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL CONSIDERANDO LAS CARACTERÍSTICAS TOPOGRÁFICAS, GEOMORFOLÓGICAS, GEOLÓGICAS, GEOTÉCNICAS, SÍSMICAS, HIDROLÓGICAS E HIDROGEOLOGICAS DEL ÁREA DE IMPLANTACIÓN   | IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN GENERAL DE LOS ACUIFEROS EN EL ÁREA DE ESTUDIO Y<br>IDENTIFICACIÓN DE LOS PAISAJES EN EL ÁREA DE ESTUDIO PARA EL DESARROLLO ECOTURÍSTICOS DE LA REGIÓN  |
| <b>DUCTOS</b>   | CARACTERIZAR LAS CONDICIONES BIÓTICAS, ABIÓTICAS Y SOCIALES DE LAS POSIBLES RUTAS DONDE SE TRAZARÁN LOS OLEODUCTOS, POLIDUCTOS Y ACUEDUCTO Y PODER GENERAR LA INFORMACIÓN ADECUADA Y SUFICIENTE QUE PERMITA EVALUAR LAS RUTAS PRINCIPALES Y POSIBLES RUTAS ALTERNATIVAS DE LOS DUCTOS QUE MINIMICEN EL IMPACTO AMBIENTAL  | DEFINIR LAS POSIBLES ÁREAS DE INTERVENCIÓN MÍNIMA DE LOS RESPECTIVOS DERECHOS DE VÍA DE TODOS LOS DUCTOS CONSIDERADOS<br>RIESGO MÍNIMO DE DERRAME Y FUGA DE LA CARGA Y DESCARGA DE CRUDO Y DE COMBUSTIBLE CON PLAN FUTURO DE CONTINGENCIAS RUTAS FINALES   |
| <b>ESTUDIOS SOCIO ECONÓMICOS</b>  | CARACTERIZAR LAS CONDICIONES SOCIO ECONÓMICAS Y CULTURALES DEL ÁREA DE ESTUDIO Y GENERAR INFORMACIÓN ADECUADA Y SUFICIENTE QUE PERMITA EVALUAR Y DETERMINAR RIESGO ECONÓMICO, SOCIAL Y AMBIENTAL PARA LA INSTALACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA Y OBRAS COMPLEMENTARIAS EN TIERRA Y EN MAR Y ELABORAR LOS ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL  | DETERMINAR EL ESTADO ACTUAL DE LOS FACTORES BIÓTICOS Y ABIÓTICOS E INFLUENCIA DE OTRAS INDUSTRIAS Y POBLACIONES EN RUTAS FINALES<br>ELABORAR MAPAS DE SENSIBILIDAD Y UBICACIÓN DE PUNTOS DE CONTROL PARA DERRAMES DE CRUDO Y ESTABLECER MEDIDAS DE CONTROL<br>ESTABLECER MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y CORRECCIÓN TENDIENTE A MITIGAR LOS POTENCIALES IMPACTOS AMBIENTALES POR OPERACIÓN REFINERÍA   |
| <b>BIODIVERSIDAD</b>  | RECOPIRAR, REGISTRAR Y ANALIZAR INFORMACIÓN SECUNDARIA Y PRIMARIA SOBRE LA BIODIVERSIDAD DEL ÁREA DE INFLUENCIA DIRECTA E INDIRECTA DEL PROYECTO A FIN DE GENERAR LA INFORMACIÓN ADECUADA Y SUFICIENTE QUE PERMITA EVALUAR Y DETERMINAR LAS ÁREAS DE MENOR RIESGO AMBIENTAL PARA LA BIODIVERSIDAD DEL ÁREA DE INSTALACIÓN DE LA REFINERÍA   | CARACTERIZAR SITUACIÓN ECONÓMICA, SOCIAL Y CULTURAL DE LAS POBLACIONES ASENTADAS EN LA ZONA DE INFLUENCIA<br>IDENTIFICAR PERCEPCIONES, EXPECTATIVAS Y TEMORES DE LOS POBLADORES Y USUARIOS DE LOS RECURSOS NATURALES DEL ÁREA DE ESTUDIO Y ELABORAR EL INFORME DE IMPACTO CULTURAL DE LA ZONA DE OPERACIÓN REFINERÍA   |
| <b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA)</b>   |   |  |
| <b>OBJETIVO GENERAL</b>   | <b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>  | <b>PRODUCTOS DEL ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b>  |
| ENTREGAR EL INFORME DEFINITIVO DEL ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL QUE CUMPLA CON LA LEGISLACION VIGENTE Y CON LOS REQUISITOS Y REQUERIMIENTOS INDICADOS EN LOS TERMINOS DE REFERENCIA, PARA ENTREGAR EL MISMO A LAS AUTORIDADES COMPETENTES PARA SU REVISIÓN Y APROBACIÓN, PARA OBTENER LA LICENCIA AMBIENTAL | DEFINIR LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DEL PROYECTO, DIRECTA E INDIRECTAMENTE, CON CRITERIOS SUSTENTADOS<br>DEFINIR LOS ECOSISTEMAS SOCIO AMBIENTALES DE INTERÉS E IMPORTANCIA AMBIENTAL, QUE PODRÍAN SER EXCLUIDOS, RECUPERADOS Y MANEJADOS<br>ACTUALIZACIÓN DE LOS ESTUDIOS DE LAS VARIABLES AMBIENTALES QUE PERMITAN DESCRIBIR, CARACTERIZAR Y ANALIZAR EL MEDIO FÍSICO, BIÓTICO Y SOCIAL EN LA CUAL SE DESARROLLARÁ EL PROYECTO<br>INCLUIR INFORMACIÓN DETALLADA DE LOS RECURSOS NATURALES A UTILIZARSE O A AFECTARSE DURANTE LA CONSTRUCCIÓN, OPERACIÓN, MANTENIMIENTO Y DESMANTELAMIENTO DE LA REFINERÍA<br>IDENTIFICAR, DIMENSIONAR Y EVALUAR LOS IMPACTOS POSITIVOS Y NEGATIVOS A GENERARSE DURANTE EL DESARROLLO DEL PROYECTO<br>EVALUAR LA VULNERABILIDAD DE LOS ECOSISTEMAS SOCIALES Y AMBIENTALES EN EL ÁREA DEL PROYECTO<br>DISEÑAR LAS MEDIDAS DE PREVENCIÓN, CORRECCIÓN, COMPENSACIÓN Y MITIGACIÓN PARA GARANTIZAR ÓPTIMA GESTIÓN SOCIO AMBIENTAL<br>EVALUAR LA COMPATIBILIDAD DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL CON LOS PLANES GUBERNAMENTALES Y PRIVADOS A NIVEL LOCAL, REGIONAL Y NACIONAL<br>EVALUAR Y COMPARAR EL CUMPLIMIENTO DE LA GESTIÓN SOCIO AMBIENTAL DEL PROYECTO CON RESPECTO A LOS ESTÁNDARES DE CALIDAD DE LAS NORMAS AMBIENTALES NACIONALES VIGENTES Y SU COMPATIBILIDAD CON LOS TRATADOS Y CONVENIOS INTERNACIONALES<br>DISEÑAR LOS PROCEDIMIENTOS PARA EL SEGUIMIENTO Y CONTROL AMBIENTAL QUE PERMITAN EVALUAR EL COMPORTAMIENTO, LA EFICIENCIA Y LA EFICACIA DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DE LA REFINERÍA<br>ELABORAR EL PLAN DE CONTINGENCIA SOBRE LA BASE DE LA IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS RIESGOS NATURALES, TECNOLÓGICOS Y SOCIALES VINCULADOS A LA VIDA ÚTIL DEL PROYECTO<br>ELABORAR EL ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEFINITIVO PARA OBTENER LA LICENCIA AMBIENTAL DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE | PLANIFICACIÓN DETALLADA DE LOS PRODUCTOS ENTREGABLES<br>DOCUMENTO DE APROBACIÓN DE LOS TDR POR EL MINISTERIO AMBIENTE<br>INFORME TÉCNICO DEL ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL<br>CARTOGRAFÍA ACTUALIZADA, IMÁGENES SATELITALES ALTA RESOLUCIÓN<br>FOTOGRAFÍAS AERIAS VERTICAL A COLOR DE ALTA CALIDAD<br>MATRIZ DE IDENTIFICACIÓN DE REQUISITOS LEGALES FASE CONSTRUCCIÓN<br>MATRIZ DE IDENTIFICACIÓN DE REQUISITOS LEGALES FASE ARRANQUE<br>MATRIZ DE IDENTIFICACIÓN DE REQUISITOS LEGALES FASE OPERACIÓN<br>MATRIZ DE IDENTIFICACIÓN DE REQUISITOS LEGALES FASE MANTENIMIENTO<br>MATRIZ DE IDENTIFICACIÓN DE REQUISITOS LEGALES FASE ABANDONO<br>MARCO LEGAL PARA SEGURIDAD INDUSTRIAL EN CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN<br>MARCO LEGAL PARA HIGIENE OCUPACIONAL EN OPERACIÓN<br>MARCO LEGAL PARA PROTECCIÓN AMBIENTAL EN OPERACIÓN<br>MARCO LEGAL PARA SALUD EN OPERACIÓN<br>MARCO LEGAL PARA PROTECCIÓN SOCIAL EN OPERACIÓN<br>REQUERIMIENTOS LEGALES PARA EVALUACIÓN IMPACTOS AMBIENTALES<br>RESUMEN LINEAMIENTOS PROTECCIÓN AMBIENTAL BANCO MUNDIAL<br>RESUMEN LINEAMIENTOS PROTECCIÓN SOCIAL BANCO MUNDIAL<br>RESUMEN LINEAMIENTOS PROTECCIÓN DE SALUD BANCO MUNDIAL<br>APLICAR PRINCIPIO DE PRECAUCIÓN EN OPERACIONES<br>ELABORAR GUIA METODOLÓGICA PARA ELABORACIÓN DEL EIA |
|   |   | <b>ACTIVIDADES Y PRODUCTOS DEL PRIMER ENTREGABLE EIA</b>   |
|   |   | CAMPAÑAS DE CAMPO COMPONENTE BIÓTICO   |
|   |   | CAMPAÑAS DE CAMPO COMPONENTE CARACTERÍSTICAS FÍSICAS SUELO   |
|   |   | ESTUDIO DE INVENTARIO DE HERPETOFAUNA (HERPETOLOGÍA)   |
|   |   | ESTUDIO DE INVENTARIO DEL COMPONENTE ACUÁTICO (ICTIOLOGÍA)   |
|   |   | IDENTIFICACIÓN DE CAUDALES FLUVIALES CONTINUOS Y DISCONTINUOS  |
|   |   | IDENTIFICACIÓN ESPECIES EN LABORATORIO: PLANKTON, PERIFITON Y BENTOS   |
|   |   | LEVANTAMIENTO DE BASE DE ICTIOFAUNA EN RÍO BURRO Y ESTERIO CAMARONES   |
|   |   | DEPURACIÓN BASE DE DATOS DE AVIFAUNA   |
|   |   | ANÁLISIS DE RANGO DE ABUNDANCIA DE AVES EN ÁREA DE ESTUDIO   |
|   |   | IDENTIFICACIÓN DE GEO ESPECÍMENES BOTÁNICOS (FLORA) EN LABORATORIO   |
|   |   | TRABAJO DE GABINETE DE MAZTOFAUNA - IDENTIFICACIÓN VERTEBRADOS   |
|   |   | ESTUDIO DE MICRONAMIFEROS TERRESTRES (ROEDORES Y MARSUPIALES)  |
|   |   | ESTUDIO DE MAMIFEROS GRANDES Y MEDIANOS  |
|   |   | ESTUDIO DE MICRO MAMIFEROS VOLADORES (MURCIÉLAGOS)   |
|   |   | MUESTREO DE LOS GRUPOS DE ENTOMOFAUNA (ENTOMOLOGÍA) - INSECTOS   |
|   |   | CARACTERIZACIÓN DE LA CLIMATOLOGÍA REGIONAL  |
|   |   | ESTUDIO HIDROLÓGICO DE LOS RÍOS MANTA Y PORTOVIEJO   |
|   |   | ESTUDIO DEL COMPONENTE FÍSICO DE LA CALIDAD DEL AIRE   |
|   |   | LEVANTAMIENTO DE LOS MAPAS DE SUELOS   |
|   |   | LEVANTAMIENTO DE LOS MAPAS DE USO DEL SUELO  |
|   |   | MAPAS DE COBERTURA VEGETAL   |
|   |   | MAPAS DE APTITUD AGROPECUARIA Y FORESTAL   |
|   |   | CAPACIDAD DE USO DE LA TIERRA  |
|   |   | ESTUDIO DEL COMPONENTE SOCIAL Y SALUD  |
|   |   | ESTUDIO PAISAJÍSTICO Y TURÍSTICO DEL ÁREA DE ESTUDIO   |
|   |   | LEVANTAMIENTO GEOLÓGICO POR INFORMACIÓN DE CAMPO   |
|   |   | ESTUDIO DE IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS PRELIMINARES   |
|   |   | VISITAS DE CAMPO DE PROSPECCIÓN ARQUEOLÓGICA   |

**Cuadro 2**

**PROYECTO COMPLEJO REFINADOR Y PETROQUÍMICO DEL PACÍFICO**

**COMPILACIÓN Y ANÁLISIS DE LA NORMATIVA AMBIENTAL VIGENTE EN LA REPÚBLICA DEL ECUADOR  
MATRIZ DE REQUISITOS EXIGIDOS POR EL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE - TULAS**

| INSTRUMENTO LEGAL  | ASPECTOS REGULADOS                     | ARTÍCULO                               | TEMA AMBIENTAL  | LÍMITE DE CONTROL   | EVIDENCIAS X CUMPLIR                              | FRECUENCIA MEDICIÓN                          | RESPONSABLE   | OBSERVACIONES  |
|--|--|--|---|---|---|--|---|--|
| <b>TULAS - TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE</b> | <b>AGUA</b>                            | LIBRO VI, ANEXO 1 / ARTÍCULO 4.2.1.1.  | AGUAS INDUSTRIALES  | ENTIDAD CONTAMINANTE DEBERÁ MANTENER REGISTROS            | REGISTRO DE EFLUENTES GENERADOS                   | POR EVENTO CUANDO APLIQUE                    | GERENCIA SIAHO                                      | INFORMES MENSUALES Y REPORTES TRIMESTRALES             |
|  |  | LIBRO VI, ANEXO 1 / ARTÍCULO 4.2.1.6.  | AGUAS INDUSTRIALES  | AGUAS FUERA DE NORMA DEBERÁN SER TRATADAS                 | REPORTE DE LABORATORIO                            | DE ACUERDO AL PLAN DE MONITOREO              | GERENCIA SIAHO                                      | INFORMES TRIMESTRALES DE MONITOREO AMBIENTAL           |
|  |  | LIBRO VI, ANEXO 1 / ARTÍCULO 4.2.1.8.  | AGUAS INDUSTRIALES  | LABORATORIOS DE ANÁLISIS DEBEN ACREDITARSE                | CERTIFICADO DE ACREDITACIÓN                       | POR CONTRATO                                 | GERENCIA SIAHO                                      | LISTA ACTUALIZADA DE LABORATORIOS ACREDITADOS          |
|  |  | LIBRO VI, ANEXO 1 / ARTÍCULO 4.2.1.9.  | AGUAS INDUSTRIALES  | SISTEMAS DE DRENAJE AGUAS INDUSTRIALES Y PLUVIALES        | PLANOS DE DRENAJE                                 | NO APLICABLE                                 | OBRAS CIVILES Y GERENCIA SIAHO                      | PRESENTAR PLANOS "AS BUILT"                            |
|  |  | LIBRO VI, ANEXO 1 / ARTÍCULO 4.2.1.12. | AGUAS INDUSTRIALES  | PROHIBICIÓN DE INFILTRACIÓN AL SUELO SIN PERMISO EAC      | AUTORIZACIÓN ENTIDAD AMBIENTAL DE CONTROL (EAC)   | POR EVENTO                                   | GERENCIA DE OPERACIONES Y GERENCIA SIAHO            | PLAN DE MANEJO DE INFILTRACIONES                       |
|  |  | LIBRO VI, ANEXO 1 / ARTÍCULO 4.2.1.14. | AGUAS INDUSTRIALES  | SITIOS ADECUADOS PARA CARACTERIZACIÓN Y AFORO             | EVIDENCIA GRÁFICA SISTEMA DE AFORO DE LÍQUIDOS    | NO APLICABLE                                 | OBRAS CIVILES Y GERENCIAS DE OPERACIONES Y DE SIAHO | MEDIDORES DE CAUDALES EN PUNTOS DE DESCARGA            |
|  |  | LIBRO VI, ANEXO 1 / ARTÍCULO 4.2.2.3.  | DERRAME DE HIDROCARBURO                                   | PLAN DE CONTINGENCIA PARA PREVENCIÓN Y CONTROL            | PLAN DE CONTINGENCIA                              | NO APLICABLE                                 | GERENCIA SIAHO                                      | PLAN DE CONTINGENCIA APROBADO POR EAC                  |
|  |  | LIBRO VI, ANEXO 1 / ARTÍCULO 4.2.3.7.  | AGUAS INDUSTRIALES  | DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE                        | INFORME MONITOREO SEGÚN RAOHE, ANEXO 2, TABLA 4.a | SEGÚN PLAN DE MONITOREO                      | GERENCIA SIAHO                                      | MONITOREOS MENSUALES                                   |
|  | <b>SUELOS</b>                          | LIBRO VI, ANEXO 2 / ARTÍCULO 4.1.1.1.  | REMEDIACIÓN SUELOS CONTAMINADOS                           | GENERACIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS NO PELIGROSOS              | PROCEDIMIENTO DE MANEJO DE DESECHOS SÓLIDOS       | NO APLICABLE                                 | GERENCIA SIAHO                                      | CONTRATISTAS CALIFICADOS MANEJO DESECHOS SÓLIDOS       |
|  |  | LIBRO VI, ANEXO 2 / ARTÍCULO 4.1.1.2.  | REMEDIACIÓN SUELOS CONTAMINADOS                           | GENERACIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS PELIGROSOS                 | PROCEDIMIENTO DE MANEJO DE DESECHOS SÓLIDOS       | NO APLICABLE                                 | GERENCIA SIAHO                                      | CONTRATISTAS CALIFICADOS MANEJO DESECHOS SÓLIDOS       |
|  |  | CALIDAD AMBIENTAL RECURSO SUELO        | MANEJO Y ALMACENAMIENTO RESIDUOS PELIGROSOS               | BITACORA MENSUAL  | REGISTRO DE GENERACIÓN DE RESIDUOS PELIGROSOS     | MENSUAL                                      | GERENCIA SIAHO                                      | CONTRATISTAS CALIFICADOS MANEJO DESECHOS SÓLIDOS       |
|  |  | LIBRO VI, ANEXO 2 / ARTÍCULO 4.1.1.3.  | MANEJO Y ALMACENAMIENTO RESIDUOS PELIGROSOS               | ÁREAS ALMACENAMIENTO CON MUROS DE CONTENCIÓN              | SITIO MANEJO DE DESECHOS CON FOSAS DE RETENCIÓN   | NO APLICABLE                                 | GERENCIA SIAHO                                      | CUNETAS SUPERFICIALES Y SUMIDEROS REQUERIDOS           |
|  |  | LIBRO VI, ANEXO 2 / ARTÍCULO 4.1.2.3.  | ACTIVIDADES QUE DEGRADAN CALIDAD DEL SUELO                | MANEJO HIDROCARBUROS CON TÉCNICAS ADECUADAS               | PROCEDIMIENTO DE MANEJO DE HIDROCARBUROS          | NO APLICABLE                                 | GERENCIA SIAHO                                      | PROCEDIMIENTO APROBADO POR EAC                         |
|  |  | LIBRO VI, ANEXO 2 / ARTÍCULO 4.1.3.1.  | SUELOS CONTAMINADOS                                       | CAUSANTES DEBERÁN REMEDIAR LA ZONA                        | PROCEDIMIENTO DE REMEDIACIÓN DE SUELOS            | NO APLICABLE                                 | GERENCIA SIAHO                                      | PROCEDIMIENTO APROBADO POR EAC                         |
|  |  | CALIDAD AMBIENTAL RECURSO SUELO        | PREVENCIÓN Y CONTROL CONTAMINACIÓN SUELO                  | INFORMAR EAC SOBRE DERRAMES, INFILTRACIONES, ETC          | COMUNICACIONES FORMALES                           | POR EVENTO                                   | GERENCIA SIAHO                                      | SE REPORTA A LA EAC POR CADA EVENTO                    |
|  |  | CALIDAD AMBIENTAL RECURSO SUELO        | REMEDIACIÓN SUELOS CONTAMINADOS                           | NIVELES CONCENTRACIÓN INDICADOS EN RAOHE                  | INFORME DE CONTROL SEGÚN RAOHE, TABLA 6           | POR EVENTO                                   | GERENCIA SIAHO                                      | INFORMES APROBADOS POR EAC                             |
|  |  | LIBRO VI, ANEXO 3 / ARTÍCULO 4.1.1.3.  | EMISIONES AL AIRE DE FUENTES FIJAS SIGNIFICATIVAS         | RAOHE TABLAS 1 Y 2  | INFORME MONITOREO DE EMISIONES FUENTES FIJAS      | TRIMESTRAL                                   | GERENCIA SIAHO                                      | INFORMES CHEQUEADOS POR EAC                            |
|  |  | LIBRO VI, ANEXO 3 / ARTÍCULO 4.1.1.4.  | DETERMINACIÓN FUENTES FIJAS NO SIGNIFICATIVAS             | NO APLICA   | DECLARACIÓN AUTORIDAD PUNTOS DE MONITOREO         | NO APLICABLE                                 | GERENCIA SIAHO                                      | PUNTOS DE MONITORES APROBADOS POR EAC                  |
|  |  | LIBRO VI, ANEXO 3 / ARTÍCULO 4.1.1.6.  | OBLIGACIÓN MANTENER REGISTROS Y CERTIFICADOS              | NO APLICA   | INFORME MONITOREO DE EMISIONES FUENTES FIJAS      | TRIMESTRAL                                   | GERENCIA SIAHO                                      | INFORMES TRIMESTRALES MONITOREO DISPONIBLES PARA EAC   |
|  |  | <b>AIRE</b>                            | LIBRO VI, ANEXO 3 / TABLA 1                               | LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES EMISIONES AIRE FUENTES VIEJAS | TABLA 1   | INFORME MONITOREO DE EMISIONES FUENTES FIJAS | TRIMESTRAL  | GERENCIA SIAHO   |
|  | LIBRO VI, ANEXO 3 / TABLA 2            |  | LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES EMISIONES AIRE NUEVAS FUENTES | TABLA 2   | INFORME MONITOREO DE EMISIONES FUENTES FIJAS      | TRIMESTRAL                                   | GERENCIA SIAHO                                      | INFORMES TRIMESTRALES MONITOREO DISPONIBLES PARA EAC   |
|  | LIBRO VI, ANEXO 3 / ARTÍCULO 4.1.1.10. |  | ALTURA APROPIADA CHIMENEA FUENTES FIJAS SIGNIFICATIVAS    | LIBRO VI, ANEXO 3, TABLA 3                                | REPORTE ALTURA Y MODELO DISPERSIÓN DEL AIRE       | UNA VEZ POR FUENTE                           | GERENCIA SIAHO                                      | CALCULO POR CRÓMATOGRAFÍAS DE GASES Y ECUACIONES RAOHE |
|  | LIBRO VI, ANEXO 3 / ARTÍCULO 4.1.5.4.  |  | OBLIGACIÓN COMUNICAR EAC DE SITUACIONES ANOMALAS          | NO APLICA   | INFORME MONITOREO DE EMISIONES FUENTES FIJAS      | TRIMESTRAL                                   | GERENCIA SIAHO                                      | INFORMES TRIMESTRALES MONITOREO DISPONIBLES PARA EAC   |
|  | LIBRO VI, ANEXO 3 / ARTÍCULO 4.1.5.5.  |  | FUENTES CON EQUIPOS BÁSICOS DE CONTROL EMISIÓN PARTICULAS | LIBRO VI, ANEXO 3, TABLA 3                                | INFORME MONITOREO DE EMISIONES FUENTES FIJAS      | TRIMESTRAL                                   | GERENCIA SIAHO                                      | INFORMES TRIMESTRALES MONITOREO DISPONIBLES PARA EAC   |
|  | LIBRO VI, ANEXO 3 / ARTÍCULO 4.1.5.6.  |  | PROGRAMAS DE MEDICIÓN DE EMISIONES                        | LIBRO VI, ANEXO 3, TABLA 3                                | INFORME MONITOREO DE EMISIONES FUENTES FIJAS      | TRIMESTRAL                                   | GERENCIA SIAHO                                      | INFORMES TRIMESTRALES MONITOREO DISPONIBLES PARA EAC   |
|  | LIBRO VI, ANEXO 3 / ARTÍCULO 4.2.2.1.  |  | REQUISITOS TÉCNICOS MÍNIMOS PARA MEDICIÓN DE EMISIONES    | LIBRO VI, ANEXO 3, ARTÍCULOS 4.2.2.1. AL 4.2.2.7          | SITIO DE EMISIONES                                | NO APLICABLE                                 | MANTENIMIENTO Y GERENCIA SIAHO                      | PUNTOS DE MUESTREO REQUERIDOS                          |
|  | LIBRO VI, ANEXO 3 / ARTÍCULO 4.2.2.8.  |  | UBICACIÓN PUNTOS MEDICIÓN DE CHIMENEAS CIRCULARES         | LIBRO VI, ANEXO 3, TABLA 5                                | SITIO DE EMISIONES                                | NO APLICABLE                                 | MANTENIMIENTO Y GERENCIA SIAHO                      | PUNTOS DE MUESTREO REQUERIDOS                          |
|  | LIBRO VI, ANEXO 3 / ARTÍCULO 4.2.3.1.  |  | REPORTES DE MEDICIÓN DE RESULTADOS FUENTES FIJAS          | NO APLICA   | INFORME MONITOREO DE EMISIONES FUENTES FIJAS      | TRIMESTRAL                                   | GERENCIA SIAHO                                      | INFORMES TRIMESTRALES MONITOREO DISPONIBLES PARA EAC   |
|  | LIBRO VI, ANEXO 3 / ARTÍCULO 4.2.3.2.  |  | REQUERIMIENTOS DEL REPORTE                                | NO APLICA   | INFORME MONITOREO DE EMISIONES FUENTES FIJAS      | TRIMESTRAL                                   | GERENCIA SIAHO                                      | INFORMES TRIMESTRALES MONITOREO DISPONIBLES PARA EAC   |

Cuadro 3

## PROYECTO COMPLEJO REFINADOR Y PETROQUÍMICO DEL PACÍFICO

COMPILACIÓN Y ANÁLISIS DE LA NORMATIVA AMBIENTAL VIGENTE EN LA REPÚBLICA DEL ECUADOR  
MATRIZ DE REQUISITOS EXIGIDOS POR EL REGLAMENTO AMBIENTAL PARA OPERACIONES HIDROCARBURÍFERAS EN ECUADOR - RAOHE 1215

| INSTRUMENTO LEGAL  | ASPECTOS REGULADOS                         | ARTÍCULO  | TEMA AMBIENTAL  | LÍMITE DE CONTROL                                  | EVIDENCIAS X CUMPLIR                                    | FRECUENCIA MEDICIÓN                             | RESPONSABLE   | OBSERVACIONES  |
|--|--|---|---|--|---|---|---|--|
| REGLAMENTO SUBSTITUTIVO DEL REGLAMENTO AMBIENTAL PARA LAS OPERACIONES HIDRO CARBURÍFERAS EN EL ECUADOR | DISPOSICIONES APLICABLES GENERALES         | 5   | AUTORIDAD AMBIENTAL   | MINISTERIO DEL AMBIENTE                            | INFORMES ENTREGADOS A LA AUTORIDAD AMBIENTAL            | POR EVENTO                                      | GERENCIA SIAHO  |  |
|  |  | 10  | PROGRAMA Y PRESUPUESTO AMBIENTAL  | ENTREGA PROGRAMA ANUAL DERIVADO DEL PLAN DE MANEJO | RECEPCIÓN OFICIAL DE PROGRAMA Y PRESUPUESTO AMBIENTAL   | ANUAL   | GERENCIAS DE FINANZAS Y DE SIAHO  | CONSTANCIA DE RECEPCIÓN DE LA EAC REQUERIDA            |
|  |  | 11  | INFORME AMBIENTAL ANUAL   | FORMATO No. 5 DEL ANEXO 4                          | RECEPCIÓN INFORME AMBIENTAL ANUAL POR EAC               | ANUAL   | GERENCIA SIAHO  | CONSTANCIA DE RECEPCIÓN DE LA EAC REQUERIDA            |
|  |  | 12  | MONITOREO AMBIENTAL INTERNO   | REPORTE EMISIONES SEGÚN FORMATOS 1 Y 2 - ANEXO 4   | INFORME DE MONITOREO AMBIENTAL INTERNO                  | TRIMESTRAL Y ANUAL                              | GERENCIA SIAHO  | REPORTES ORDENADOS Y ARCHIVADOS                        |
|  |  | 13  | PRESENTACION DE ESTUDIOS AMBIENTALES  | ENTREGA A LA EAC                                   | CONSTANCIA ENTREGA ESTUDIO A EAC Y SEGUIMIENTO          | PARA CADA NUEVO PROYECTO                        | GERENCIA SIAHO  | SEGUIMIENTO PLANIFICADO REQUERIDO                      |
|  |  | 13  | PRESENTACION ESTUDIOS LINEA BASE Y DIAGNOSTICO AMBIENTAL                                    | ENTREGA JUNTO A EIA A LA EAC                       | CONSTANCIA ENTREGA ELBA, DIAGNOSTICO E EIA A EAC        | ANTES DEL OTORGAMIENTO DE LA LICENCIA AMBIENTAL | GERENCIA SIAHO  |  |
|  |  | 16  | MONITOREO DE PROGRAMAS DE REMEDIACIÓN   | ASPECTOS TÉCNICOS MONITOREO Y CONTROL              | CONSTANCIA DE ENTREGA DE PROGRAMA REMEDIACIÓN           | POR EVENTO                                      | GERENCIA SIAHO  | SE REQUIERE TENER APROBADOS PROCEDIMIENTOS RESPECTIVOS |
|  |  | 17.1.9.   | DESCARGA DE AGUAS GRISAS Y NEGRAS   | CUMPLIMIENTO DEL CUADRO 3 CAPÍTULO IX              | INFORME DE MONITOREO                                    | MENSUAL   | GERENCIA SIAHO  | ARCHIVAR REPORTES EN FORMA ORDENADA                    |
|  |  | 24  | MANEJO DE PRODUCTOS QUÍMICOS  | MANEJO Y ALMACENAMIENTO SEGÚN LITERALES 5) a e)    | CAPACITACIÓN PERSONAL SOBRE MANEJO DE QUÍMICOS          | NO APLICA                                       | GERENCIA SIAHO  | APLICAR ÚLTIMA REVISIÓN DE PROCEDIMIENTO APROBADO      |
|  |  | 25  | MANEJO DE CRUDO Y COMBUSTIBLES  | MANEJO Y ALMACENAMIENTO SEGÚN LITERALES a) a h)    | CONFIRMACIÓN CUMPLIMIENTO EIA MEDIANTE AUDITORÍAS       | NO APLICA                                       | GERENCIAS DE OPERACIONES Y SIAHO  | PROCEDIMIENTOS DEBEN ESTAR SIEMPRE ACTUALIZADOS        |
|  |  | 27  | OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE EQUIPOS E INSTALACIONES  | PROGRAMAS MANTENIMIENTO Y EQUIPOS CONTRA INCENDIO  | PLAN DE CONTINGENCIAS ANTE DERRAMES E INCENDIOS         | ANUAL   | GERENCIA SIAHO  | CONTINUA ACTUALIZACIÓN PLAN CONTINGENCIAS              |
|  |  | 28  | MANEJO DE DESECHOS  | CUMPLIR TODOS LOS INCISOS DEL ARTÍCULO 28          | PROCEDIMIENTO MANEJO DESECHOS SÓLIDOS Y REGISTROS       | REGISTRO MENSUAL E INFORME ANUAL CONSOLIDADO    | GERENCIA SIAHO  | CLASIFICAR Y REDUCIR DESECHOS EN LA FUENTE             |
|  |  | 29  | DESCARGAS LÍQUIDAS DE EQUIPOS E INSTALACIONES   | SE REQUIERE SEPARADORES API                        | PLANTAS TRATAMIENTO AGUAS NEGRAS Y GRISAS SEGÚN TABLA 5 | ANÁLISIS SEMANALES PARA AGUAS NEGRAS Y GRISAS   | GERENCIA SIAHO  | PROPICIAR TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS AGUAS CONTAMINADAS   |
|  | 29   | TRATAMIENTO EFLUENTES RESIDUALES                    | ANÁLISIS DE DESCARGAS SEGÚN TABLA 4   | SISTEMAS DE TRATAMIENTO ACTUALIZADOS               | POR EVENTO  | GERENCIA SIAHO                                  | EJECUTAR MONITOREOS CONTINUOS CON INFORMES EJECUTAR MONITOREOS CONTINUOS CON INFORMES |  |
|  | 29   | LÍMITES PERMISIBLES EFLUENTES                       | TABLA 4 DEL ANEXO 2   | INFORMES DE MONITOREO                              | POR EVENTO  | GERENCIA SIAHO                                  |   |  |
|  | 29   | TRATAMIENTO DE DESECHOS LÍQUIDOS                    | TABLA 5 DEL ANEXO 2   | INFORME A LA EAC                                   | POR EVENTO  | GERENCIAS DE OPERACIONES Y DE SIAHO             | SE REQUIERE APROBACIÓN EAC  |  |
|  | 29   | TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS (NEGRAS) Y GRISAS     | DESCARGAS SEGÚN TABLA 5   | PLANTAS DE TRATAMIENTO                             | ANÁLISIS SEMANALES PARA AGUAS NEGRAS Y GRISAS           | GERENCIA SIAHO                                  | PREFERIR TRATAMIENTO BIOLÓGICO  |  |
|  | 31   | MANEJO Y TRATAMIENTO DE DESECHOS SÓLIDOS            | LITERALES a) AL d)  | PLAN DE MANEJO AMBIENTAL Y PROCEDIMIENTO MANEJO    | NO APLICA   | GERENCIA SIAHO                                  | ACTUALIZAR PROCEDIMIENTOS   |  |
|  | 35   | APROBACION ESTUDIO IMPACTO AMBIENTAL                | APROBACIÓN POR EAC DENTRO DE CADA FASE  | CONSTANCIA RECEPCIÓN DEL EIA POR LA EAC            | POR FASE  | GERENCIA SIAHO                                  | REVISIÓN CONTINUA Y ACTUALIZACIÓN REQUERIDAS  |  |
|  | 37   | PRESENTACION PÚBLICA ESTUDIO IMPACTO AMBIENTAL      | PRESENTACIÓN PÚBLICO  | INFORME DEL PROCESO DE PARTICIPACIÓN Y CONSULTA    | POR FASE  | GERENCIA SIAHO                                  | ARCHIVAR INFORME Y ACTAS DE PROCESO PARTICIPACIÓN CONSULTA                            |  |
|  | 42   | AUDITORÍAS AMBIENTALES                              | CUMPLIR CON LAS AUDITORÍAS AMBIENTALES  | INFORMES DE AUDITORÍAS AMBIENTALES                 | BIANUALES   | GERENCIA SIAHO                                  | ARCHIVAR INFORMES AUDITORÍAS AMBIENTALES  |  |
|  | 44 Y 46                                    | EXAMEN ESPECIAL AMBIENTAL                           | SOLICITADO POR EAC PARA CASOS ESPECIALES  | INFORME DE EXAMEN AMBIENTAL ESPECIAL               | POR EVENTO  | GERENCIA SIAHO                                  | ARCHIVAR CUIDADOSAMENTE INFORMES AMBIENTALES ESPECIALES                               |  |
|  | 55   | ESTUDIOS AMBIENTALES                                | OBLIGATORIEDAD ESTUDIO AMBIENTALES REFINACIÓN   | ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL                       | AL INICIO DEL PROYECTO                                  | GERENCIA SIAHO                                  | CONTEMPLAR ESTUDIOS AMBIENTALES POR FASES   |  |
|  | 71   | TANQUES DE ALMACENAMIENTO                           | ÁREA TANQUES VERTICALES API CON CUNETAS Y SUMIDROS  | CUMPLIR LITERAL a)1) EN SITIO Y AUDITORÍAS         | NO APLICA   | GERENCIA SIAHO                                  | VERIFICAR PLANOS  |  |
|  | 71   | TANQUES DE ALMACENAMIENTO                           | SISTEMA DE DETECCIÓN DE FUGAS SEGÚN LITERAL a)3)  | DIQUES Y CURBOS DE CONTENSIÓN EN SITIO             | NO APLICA   | GERENCIA SIAHO                                  | VERIFICAR PLANOS  |  |
|  | 71   | TUBERÍAS ENTERRADAS                                 | PROTECCION CONTRA LA CORROSIÓN  | PROTECCION CATÓDICA Y PLANOS DE DISEÑO             | NO APLICA   | GERENCIA SIAHO                                  | VERIFICAR PLANOS E INFORMES DE AUDITORÍAS   |  |
|  | 71   | INFORMES INSPECCIÓN TÉCNICA TANQUES Y TUBERÍAS      | INFORMES DE INSPECCIÓN Y CONTROL Y MANTENIMIENTO  | INFORME DE INSPECCIÓN TÉCNICA                      | ANUAL   | GERENCIAS DE OPERACIONES Y DE MANTENIMIENTO     | ACTUALIZAR TÁCNICAS DE INSPECCIÓN Y CONTROL   |  |
|  | 73   | CONSTRUCCIÓN DE DUCTOS Y DESBROCES                  | ANCHO DESBROCE NO MAYOR A 10 m (LITERAL 2.1.)   | PLAN DE MANEJO APROBADO Y SITIO                    | POR EVENTO  | GERENCIA SIAHO                                  | DISPONER DE EIA Y PMA   |  |
|  | 73   | CONSTRUCCIÓN DE DUCTOS Y DESBROCES                  | ANCHO MÁXIMO A PARTIR DE LA OBRA BÁSICA (LITERAL 2.3.)                                      | DISTANCIA NO MAYOR A 6 m                           | POR EVENTO  | GERENCIA SIAHO                                  | DISPONER DE EIA Y PMA   |  |
|  | 73   | DESBROCE DE SENDEROS                                | ANCHO MÁXIMO 1.2 m PARA EL TRAZADO DE DUCTOS  | PLAN DE MANEJO APROBADO Y SITIO                    | POR EVENTO  | GERENCIA SIAHO                                  | DISPONER DE EIA Y PMA   |  |
|  | 73   | PRUEBAS HIDROSTÁTICAS EQUIPOS                       | DESCARGAS DE AGUAS DE PRUEBA SEGÚN TABLA 4 DEL ANEXO 2                                      | ANÁLISIS DE LABORATORIOS                           | POR EVENTO  | GERENCIA SIAHO                                  | ARCHIVO DE ANÁLISIS PARA CADA PRUEBA  |  |
|  | 73   | FASE DE CONSTRUCCIÓN                                | CAPACITACIÓN PERSONAL EN PROCEDIMIENTOS AMBIENTALES TODOS ENTERRADOS Y CUMPLIR LITERAL 5.6) | REGISTROS CAPACITACIÓN                             | POR PROYECTO  | GERENCIAS SIAHO Y CONSTRUCCIÓN                  | CAPACITACIÓN CONTINUA   |  |
| 73   | OLEODUCTOS Y POLIDUCTOS                    | OLEODUCTOS Y POLIDUCTOS                             | SITIO   | POR PROYECTO                                       | GERENCIAS SIAHO Y CONSTRUCCIÓN                          | REFORESTAR DESBROCES REALIZADOS                 |   |  |
| 73   | OLEODUCTOS Y POLIDUCTOS ATRAVIESAN PUEBLOS | VÁLVULAS DE CIERRE EN LOS EXTERMINOS CENTRO POBLADO | SITIO   | POR PROYECTO                                       | GERENCIAS SIAHO Y CONSTRUCCIÓN                          | VERIFICAR ANUALMENTE OPERATIVIDAD VÁLVULAS      |   |  |



Cuadro 4

**PROYECTO COMPLEJO REFINADOR Y PETROQUÍMICO DEL PACÍFICO**

**COMPILACIÓN Y ANÁLISIS DE LA NORMATIVA AMBIENTAL VIGENTE EN LA REPÚBLICA DEL ECUADOR  
LEY DE HIDROCARBUROS DEL ECUADOR - ARTICULO 31 - R.O. SUPLEMENTO 144 - 18AGO2000  
REQUISITOS AMBIENTALES PARA ACTIVIDADES HIDROCARBURIFERAS**

GUIA METODOLÓGICA PARA LA ELABORACIÓN DE ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL SEGUN ARTICULO 41 DEL RS DEL RAOHE SEGUN DECRETO 1215

|                                  |                                     |                                |                     |                      |                              |                            |                               |                               |                                |                |                    |                                   |                              |                               |                              |                                 |
|----------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|---------------------|----------------------|------------------------------|----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|----------------|--------------------|-----------------------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|---------------------------------|
| <b>FICHA TÉCNICA</b>             | NOMBRE DEL PROYECTO                 | <b>CRITERIOS METODOLÓGICOS</b> | <b>MEDIO FÍSICO</b> | <b>MEDIO BIÓTICO</b> | <b>ASPECTOS DEMOGRÁFICOS</b> | <b>CONDICIONES DE VIDA</b> | <b>ESTRATIFICACIÓN SOCIAL</b> | <b>INFRAESTRUCTURA FÍSICA</b> | <b>ACTIVIDADES PRODUCTIVAS</b> | <b>TURISMO</b> | <b>ARQUEOLOGÍA</b> | COMPOSICIÓN POR EDAD              |                              |                               |                              |                                 |
|                                  | DENOMINACIÓN DEL ÁREA               |                                |                     |                      |                              |                            |                               |                               |                                |                |                    | CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA          | GEOMORFOLOGÍA                | COMPOSICIÓN POR SEXO          | SERVICIOS BÁSICOS SALUD      | PROYECCIÓN TRÁFICO FUTURO       |
| UBICACIÓN CARTOGRAFICA           | IDENTIFICACIÓN ÁREAS SENSIBLES      |                                |                     |                      |                              |                            |                               |                               |                                |                |                    | CLIMATOLOGÍA                      | TASA CRECIMIENTO VEGETATIVO  | SERVICIOS BÁSICOS SANEAMIENTO | TENENCIA Y USO DE LA TIERRA  | LUGARES INTERES PATRISTICO      |
| SUPERFICIE DEL ÁREA REQUERIDA    | DEFINICIÓN PLAN MONITOREO AMBIENTAL |                                |                     |                      |                              |                            |                               |                               |                                |                |                    | HIDROLOGÍA                        | DENSIDAD DEMOGRÁFICA         | TIPOS DE VIAS DE COMUNICACION | NUMERO UNIDADES PRODUCTIVAS  | LUGARES INTERES RECURSO NATURAL |
| FASE DE OPERACIONES              | DEFINICIÓN LINEA BASE AMBIENTAL     |                                |                     |                      |                              |                            |                               |                               |                                |                |                    | TIPOS DE SUELOS                   | MIGRACION                    | ABASTECIMIENTO DE ALIMENTOS   | TAMARIO UNIDADES PRODUCTIVAS | LUGARES CON VALOR HISTORICO     |
| RAZON SOCIAL DE LA EMPRESA       | PROFUNDIZAR ESTUDIO ELBA            |                                |                     |                      |                              |                            |                               |                               |                                |                |                    | USOS DEL SUELO                    | CAPACIDADES Poblacion Activa | PROBLEMAS NUTRICIONALES       | EMPLO PLENO Y SUBEMPLO       | LUGARES CON VALOR CULTURAL      |
| DIRECCION DE LA EMPRESA          | ACTUALIZAR ESTUDIO ELBA             |                                |                     |                      |                              |                            |                               |                               |                                |                |                    | CALIDAD DE AGUAS                  | ABASTECIMIENTO DE ALIMENTOS  | FACTORES DE NATALIDAD         | DESARROLLO                   | ESTUDIOS DE IMPACTO             |
| CORREO ELECTRONICO DE LA EMPRESA | COMPRESION DE LOS ECOSISTEMAS       |                                |                     |                      |                              |                            |                               |                               |                                |                |                    | IDENTIFICACION ECOSISTEMAS TIERRA | MORTALIDAD INFANTIL          | MORTALIDAD MATERNA            | CONSERVACION ARQUEOLOGICA    | PROTECCION PATRIMONIO CULTURAL  |
| TELEFONO DE LA EMPRESA           | FUNCIONAMIENTO ECOSISTEMAS          |                                |                     |                      |                              |                            |                               |                               |                                |                |                    | COBERTURA VEGETAL                 | MORTALIDAD GENERAL           | MORTALIDAD INFANTIL           | ARQUEOLOGIA SUBMARINA        |                                 |
| NOMBRE DEL REPRESENTANTE LEGAL   | AFECCION DE LOS ECOSISTEMAS         |                                |                     |                      |                              |                            |                               |                               |                                |                |                    | FAUNA Y FLORA                     | MORTALIDAD GENERAL           | MORTALIDAD INFANTIL           |                              |                                 |
| NOMBRE CONSULTORA EIA            | DINAMICA SOCIAL LOCAL               |                                |                     |                      |                              |                            |                               |                               |                                |                |                    | ECOSISTEMAS ACUATICOS             | MORTALIDAD GENERAL           | MORTALIDAD INFANTIL           |                              |                                 |
| COMPARACION EQUIVO TECNICO       | FORMA UTILIZACION RECURSOS NAT      |                                |                     |                      |                              |                            |                               |                               |                                |                |                    | ECOSISTEMAS MARINOS               | MORTALIDAD GENERAL           | MORTALIDAD INFANTIL           |                              |                                 |
| MARCO CONCEPTUAL                 |                                     |                                |                     |                      |                              |                            |                               |                               |                                |                |                    | IDENTIFICACION ZONAS SENSIBLES    | MORTALIDAD GENERAL           | MORTALIDAD INFANTIL           |                              |                                 |
| DESCRIPCION DEL PROYECTO         |                                     |                                |                     |                      |                              |                            |                               |                               |                                |                |                    | ESPECIES UNICAS FAUNA Y FLORA     | MORTALIDAD GENERAL           | MORTALIDAD INFANTIL           |                              |                                 |
| CONTENIDO GUIA                   |                                     |                                |                     |                      |                              |                            |                               |                               |                                |                |                    | ESPECIES RARAS FAUNA Y FLORA      | MORTALIDAD GENERAL           | MORTALIDAD INFANTIL           |                              |                                 |
| FASES DEL PROYECTO               |                                     |                                |                     |                      |                              |                            |                               |                               |                                |                |                    | ESPECIES EN PELIGRO               | MORTALIDAD GENERAL           | MORTALIDAD INFANTIL           |                              |                                 |
| RESUMEN LINEA BASE AMBIENTAL     |                                     |                                |                     |                      |                              |                            |                               |                               |                                |                |                    | POTENCIALES AMENAZAS ECOSISTEMA   | MORTALIDAD GENERAL           | MORTALIDAD INFANTIL           |                              |                                 |

Cuadro 5

| PROYECTO COMPLEJO REFINADOR Y PETROQUÍMICO DEL PACÍFICO  |            |                               |   |             |             |  |               |               |
|--|------------|-------------------------------|---|-------------|-------------|--|---------------|---------------|
| DEFINICIÓN DE LOS PASOS NECESARIOS PARA OBTENER LA LICENCIA AMBIENTAL Y ESTIMACIÓN DEL TIEMPO REQUERIDO PARA LOGRARLA                        |            |                               |   |             |             |  |               |               |
| FASES  | PESO       | SUB-FASES                     | SUB - PESOS   |             | %           | ACTIVIDADES PRINCIPALES  | HH /FASE      | HH/SUBFASE    |
| CERTIFICADO DE INTERSECCIÓN SNAP-BP-PFE  | 5          | Tramitología                  | 40  | 100         | 0.02        | Tramitología en Ministerio Ambiente<br>Obtención de documento certificado en MAE                   | 1,250         | 500           |
|  |            | Certificado                   | 60  | 100         | 0.03        |  |               | 750           |
|  |            |                               |   |             |             |  |               |               |
| TÉRMINOS DE REFERENCIA   | 20         | Documentación                 | 30  | 0.024       | 0.08        | Búsqueda de información, trabajo de campo y elaboración de borrador                                | 5,000         | 2,000         |
|  |            |                               | 30  | 0.024       |             | Emisión para comentarios RDP (Rev 1)   |               |               |
|  |            |                               | 30  | 0.024       |             | Incorporación de comentarios de Ingeniería / Comentarios de ACCI - RDP y aprobación de RDP (Rev 2) |               |               |
|  |            |                               | 10  | 0.008       |             | Incorporación de comentarios finales (Rev 3), aprobación de RDO y cierre de la fase                |               |               |
|  |            | Presentación pública          | 15  | 0.009       | 0.06        | Preparación de la información y validación de RDP  |               |               |
|  |            |                               | 30  | 0.018       |             | Presentación   |               |               |
|  |            |                               | 10  | 0.006       |             | Incorporación de comentarios durante presentación y CIP  |               |               |
|  |            |                               | 10  | 0.006       |             | Emisión para comentarios RDP (Rev 1)   |               |               |
|  |            |                               | 10  | 0.006       |             | Elaboración del documento  |               |               |
|  |            | Aprobación                    | 15  | 0.009       | 0.06        | Incorporación de comentarios de Ingeniería / Comentarios de ACCI - RDP y aprobación de RDP (Rev 2) |               |               |
|  |            |                               | 10  | 0.006       |             | Incorporación de comentarios finales (Rev 3), aprobación de RDP y cierre de la fase                |               |               |
|  |            |                               | 15  | 0.009       |             |  |               |               |
| ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL   | 50         | Document. Según Art. 41       | 30  | 0.04        | 0.13        | Aprobación de TDR por la Autoridad de Control  | 12,500        | 3,125         |
|  |            |                               | 30  | 0.04        |             | Búsqueda de información, trabajo de campo y elaboración de borrador                                |               |               |
|  |            |                               | 30  | 0.04        |             | Emisión para comentarios RDP (Rev 1)   |               |               |
|  |            |                               | 10  | 0.01        |             | Incorporación de comentarios de Ingeniería / Comentarios de ACCI - RDP y aprobación de RDP (Rev 2) |               |               |
|  |            | Informac. Adicional Art. 63   | 30  | 0.04        | 0.13        | Incorporación de comentarios finales (Rev 3), aprobación de RDP y cierre de la fase                |               |               |
|  |            |                               | 30  | 0.04        |             | Búsqueda de información, trabajo de campo y elaboración de borrador                                |               |               |
|  |            |                               | 10  | 0.01        |             | Emisión para comentarios RDP (Rev 1)   |               |               |
|  |            | Plan de Manejo Ambiental      | 30  | 0.04        | 0.13        | Incorporación de comentarios de Ingeniería / Comentarios de ACCI - RDP y aprobación de RDP (Rev 2) |               |               |
|  |            |                               | 30  | 0.04        |             | Incorporación de comentarios finales (Rev 3), aprobación de RDO y cierre de la fase                |               |               |
|  |            |                               | 30  | 0.04        |             | Búsqueda de información, trabajo de campo y elaboración de borrador                                |               |               |
|  |            |                               | 10  | 0.01        |             | Emisión para comentarios RDP (Rev 1)   |               |               |
|  |            | Presentación pública          | 10  | 0.01        | 0.05        | Incorporación de comentarios de Ingeniería / Comentarios de ACCI - RDP y aprobación de RDP (Rev 2) |               |               |
|  |            |                               | 10  | 0.01        |             | Incorporación de comentarios finales (Rev 3), aprobación de RDO y cierre de la fase                |               |               |
|  |            |                               | 10  | 0.01        |             | Preparación de la información y validación de RDP  |               |               |
|  |            |                               | 10  | 0.01        |             | Presentación   |               |               |
| 10   | 0.01       |                               | Incorporación de comentarios durante presentación y CIP |             |             |  |               |               |
| 15   | 0.01       |                               | Emisión para comentarios RDP (Rev 1)                    |             |             |  |               |               |
| LICENCIA AMBIENTAL   | 25         | Aprobación                    | 15  | 100         | 0.075       | Aprobación del documento   | 6,250         | 1,875         |
|  |            | Tramitología                  | 40  | 100         | 0.10        | Tramitología en Ministerio Ambiente  |               | 2,500         |
|  |            | Obtención licencia            | 60  | 100         | 0.15        | Obtención de documento certificado en MAE  |               | 3,750         |
| <b>TOTALES</b>   | <b>100</b> | <b>SUMA TOTAL DE FACTORES</b> |   | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> | <b>MONTOS TOTALES</b>  | <b>25,000</b> | <b>25,000</b> |
| <b>25.000 HORAS - HOMBRE SIGNIFICAN CONTRATAR QUINCE (15) ESPECIALISTAS DURANTE UN (1) CALENDARIO DE TRABAJO TRABAJANDO 220 DÍAS POR AÑO</b> |            |                               |   |             |             |  |               |               |

## REFERENCIAS

1. "Manifiesto por la Vida por una Ética para la Sustentabilidad". Revista Internacional de Sociología, (RIS), nº 19-20:329-367. 1998. Disponible: <http://www.scielo.br/pdf/asoc/n10/16893.pdf>. [Consulta: 2010, Agosto 15].
2. Adler, M. (s/f). Localización de un proyecto: Estudio de la Macro y Microubicación. Disponible <http://www.oaplo.com.ar/Articulos/Proyecto-0402.pdf> [Consulta: 2010, Octubre 2].
3. ElCiudadano.gob.ec (2009). PDVSA entregó estudios de Visualización y Micro localización de la Refinería del Pacífico. Disponible [https://www.elciudadano.gov.ec/index.php?option=com\\_content&view=article&id=439:pdvsa-entrego-estudio-de-visualizacion-y-micro-localizacion-de-la-refineria-del-pacifico&catid=3:economia&Itemid=44](https://www.elciudadano.gov.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=439:pdvsa-entrego-estudio-de-visualizacion-y-micro-localizacion-de-la-refineria-del-pacifico&catid=3:economia&Itemid=44) [Consulta: 2010, Octubre 3].
4. Facultad de economía. Universidad Nacional Autónoma de México. (s/f). II. Estudio Técnico. Disponible <http://www.economia.unam.mx/secss/docs/tesisfe/GomezAM/cap2a.pdf> [Consulta: 2010, Octubre 2].
5. Gitman, L. y Mc Daniel, C. (2008). El Futuro de los Negocios. 5ta. Edición. México: Cengage Learning Editores, S.A.
6. Ingenieroambiental.com (s/f). Manual de Educación Ambiental. Disponible <http://www.ingenieroambiental.com/4023/manual%20de%20educacion%20ambiental.pdf> [Consulta: 2010, Octubre 2].
7. Ley de Gestion Ambiental. Codificación 19 (2004). Registro Oficial Suplemento No. 418, Septiembre 10, 2004.
8. Ley de Gestion Ambiental. Ley Nº 37 (1999). Registro Oficial No. 265, Julio 30, 1999.
9. Ley de Hidrocarburos. Decreto Supremo Nº 2967. (1978). Registro Nº 711, Noviembre 15, 1978.
10. Ley Reformatoria a la Ley de Hidrocarburos. Registro Oficial Nº 244, Julio 27, 2010.
11. Ministerio de Energía y Minas del Perú (2009). Capítulo IV: Línea Base Ambiental. Disponible <http://intranet2.minem.gob.pe/web/archivos/dgaae/publicaciones/resumen/electrocentro/4.pdf> [Consulta: 2010, Octubre 2].
12. Niño, R. (2006). Indicadores Estéticos de Cultura Urbana. Facultad de Arquitectura y Diseño. Departamento de Estética Colombia: Pontificia Universidad Javeriana, 2006.
13. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2008). Hacia una Declaración Universal de Bioética, un desafío Internacional. Redbioética (Red Latinoamericana y del Caribe de Bioética). Disponible: <http://portal.unesco.org/shs/en/files/7067/11047719031EAWArgentinaReport.pdf/EAWArgentinaReport.pdf>. [Consulta: 2010, Agosto 18].
14. Planigestion. (2010). Estudios Ambientales Requisitos del MinAmb. Disponible <http://www.planigestion.com/PlaniGestionEstudiosMinAmb.htm#Estudios%20de%20Impacto%20Ambiental%20y%20Socio-Cultural%20%28EIASC%29> [Consulta: 2010, Octubre 2].
15. Portal de Desarrollo Sustentable. (2008). Desarrollo Sostenible o Sustentable. Disponible: [http://www.desarrollosustentable.com.ve/Default.aspx?ID\\_Portal=1&ID\\_Page=8](http://www.desarrollosustentable.com.ve/Default.aspx?ID_Portal=1&ID_Page=8) [Consulta: 2010, Agosto 15].

16. Refinería del Pacífico Eloy Alfaro CEM. (2010). Organigrama Fase I. Disponible: [http://www.rdp.ec/index.php?option=com\\_content&view=article&id=28&Itemid=29](http://www.rdp.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=28&Itemid=29) [Consulta: 2010, Agosto 25].
17. Reglamento Sustitutivo del Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador (2001). Decreto Ejecutivo N° 1215 Registro Oficial No. 265, Febrero 13, 2001.
18. Sudel C.A. (s/f). Ingeniería de Proyectos. Disponible <http://www.sudelca.com.ve/ingenieria.htm> [Consulta: 2010, Octubre 2].
19. Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente. Decreto N° 3.516. (2003). Registro Oficial Edición Especial N° 2, Marzo 31, 2003.
20. Universidad Nacional Experimental del Táchira. (2005). Ingeniería Ambiental. Disponible <http://www.unet.edu.ve/unet2001/carreras/ambient/index.html> . [Consulta: 2010, Octubre 2].

# EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA CON HAZUS-99 ADAPTADO AL ECUADOR UTILIZANDO CEINCI-LAB

Roberto Aguiar Falconí y Diego Barona

Centro de Investigaciones Científicas  
Escuela Politécnica del Ejército

## RESUMEN

El Programa HAZUS fue desarrollado en los Estados Unidos en 1999 para evaluar la vulnerabilidad sísmica, en forma aproximada de ciudades empleando el Método del Espectro de Capacidad. La aproximación radica en que HAZUS proporciona el Espectro de Capacidad de la estructura, la misma que fue hallada para 36 tipologías estructurales de Norte América.

En este artículo se presenta en primer lugar la forma como se obtiene con HAZUS los niveles de daño estructural, no estructural y de contenidos en función del desplazamiento, de la deriva de piso y de la aceleración espectral. Para cada uno de ellos hay cuatro niveles de daño denominados: leve, moderado, extensivo y completo.

Para estructuras de Hormigón Armado de 1 a 6 pisos se presentan los Espectros de Capacidad en base a investigaciones realizadas en el CEINCI-ESPE en el Ecuador, de tal manera que para este tipo de edificios se recomienda emplear estos espectros en lugar de los de HAZUS.

Para facilitar el cálculo se han desarrollado programas en Matlab, los mismos que han sido incorporados al software CEINCI-LAB, con los cuales se halla el Espectro de Capacidad de una estructura; el Espectro de Demanda; el Punto de Demanda aplicando el Método del Espectro de Capacidad y los Niveles de daño.

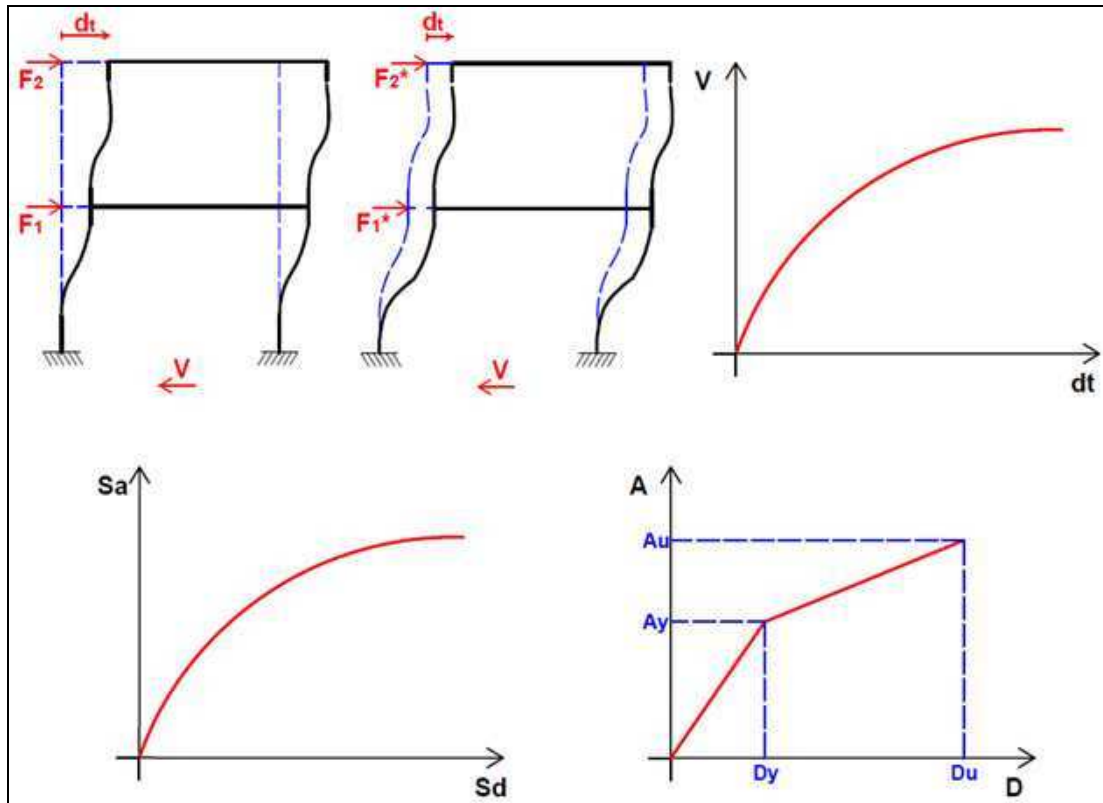
## 1. INTRODUCCIÓN

Para evaluar la vulnerabilidad sísmica de un edificio lo mejor es simular su comportamiento en el computador, ante un determinado sismo. Se puede realizar un análisis sísmico espacial considerando tres grados de libertad por planta y mediante un análisis modal espectral hallar los desplazamientos máximos probables esperados y las derivas de piso. Aguiar (2008). Con las derivas de piso o desplazamientos máximos se ingresa posteriormente a una curva de fragilidad y se determina el grado de vulnerabilidad de la estructura en términos de daño. Aguiar (2006)

Otra opción es realizar un análisis no lineal de la estructura pero para esto se requiere dar como dato la armadura de los elementos estructurales, en el nudo inicial, centro de luz y nudo final; luego se puede utilizar algún programa como el IDARC-3D. Kunnath y Reinhorn (1989) o Ruaumoko. Carr (2000). Posteriormente, mediante el empleo de un modelo de daño. Aguiar y Barbat (1997) se encuentra la vulnerabilidad de la estructura.

En los dos casos el trabajo es laborioso pero se puede hacerlo si se trata de unos pocos edificios. Ahora bien, cuando se tiene que evaluar la vulnerabilidad sísmica de una población o de una ciudad, ya no es factible realizarlo en la forma anotada ya que es muy costoso y demandaría demasiado tiempo. En este caso lo mejor es recurrir al programa HAZUS que proviene de **Hazards U.S.** Este programa fue financiado por la **Agencia Federal** para el **Manejo**

de Emergencias y en forma bastante rápida pero aproximada, determina el Espectro de Capacidad para 36 tipologías estructurales. HAZUS (1999).



**Figura 1** Esquema de cálculo del Espectro de Capacidad de una Estructura.

En la figura 1 se muestra un esquema de cómo se obtiene el Espectro de Capacidad de una Estructura, se aprecia un pórtico en el cual se aplican cargas laterales monotónicas crecientes hasta llevar al colapso a la estructura. En cada instante de carga se obtiene el cortante basal  $V$  que no es más que la suma de las fuerzas laterales aplicadas en cada uno de los pisos y el desplazamiento lateral en el tope del edificio  $dt$ .

En la figura superior derecha se muestra la curva de capacidad sísmica resistente de la estructura que relaciona el desplazamiento lateral en el tope del edificio con el cortante basal, halladas con la Técnica el Pushover, descrito muy rápidamente en la figura 1. Se destaca que también se halla esta curva a partir de cargas cíclicas.

En la parte inferior izquierda de la figura 1, se muestra el Espectro de Capacidad, que se halla a partir de la Curva de Capacidad Resistente. Es importante destacar que el Espectro de Capacidad de la estructura está asociado a un concepto de un grado de libertad y que la curva de Capacidad Sísmica Resistente a "n" grados de libertad. En Aguiar (2002) se presenta con detalle el marco teórico respectivo.

Ahora bien, el programa HAZUS-99 presenta en forma aproximada los espectros de capacidad para 36 tipologías estructurales, para el modelo bilineal del Espectro de Capacidad que se indica, en la parte inferior derecha de la figura 1. Concretamente HAZUS-99 indica los valores del punto de fluencia y del punto de colapsó, los mismos que fueron hallados utilizando las siguientes fórmulas:

$$A_y = C_s \eta / \alpha_1 \quad D_y = 9.8 T_e^2 A_y \quad (1)$$

$$A_u = \lambda A_y \quad D_u = \lambda \mu D_y \quad (2)$$

Donde  $A_y, D_y$  son la aceleración y desplazamiento espectral del punto de fluencia;  $A_u, D_u$  son la aceleración y desplazamiento espectral del punto de colapso;  $C_s$  es el coeficiente sísmico que relaciona el cortante basal con el peso del edificio;  $T_e$  es el período fundamental elástico de la estructura;  $\lambda$  es la sobre resistencia de la estructura en función de la aceleración última ( $\lambda = A_u/A_y$ );  $\eta$  es la sobre resistencia en función de la aceleración de fluencia ( $\eta = A_y/A$ ) siendo  $A$  la aceleración de diseño;  $\alpha_1$  es el factor de participación del primer modo en la respuesta sísmica.

HAZUS-99 presenta las variables indicadas en las ecuaciones 1 y 2 con los cuales se halla el Espectro de Capacidad y están recogidas en Aguiar (2002). Es importante destacar que estas fueron halladas para 36 tipologías estructurales de los Estados Unidos de Norte América y sería muy riesgoso aplicarlas directamente en el Ecuador o en cualquier lugar del mundo sin una adaptación previa.

HAZUS-99 presenta valores para cuatro niveles de diseño denominados: alto, medio, bajo y no se considera sismo. De acuerdo a estos niveles de diseño se tendrá: una alta disipación de energía, una mediana disipación de energía, una baja disipación de energía y una nula disipación de energía en las estructuras.

## 2. INVESTIGACIONES REALIZADAS EN EL ECUADOR

En el CEINCI-ESPE, se encontró el Factor de Reducción de las Fuerzas Sísmicas  $R$  para pasar del espectro elástico al espectro inelástico; en dicho estudio se analizaron 216 edificios de hormigón armado de 1 a 6 pisos; edificios compuestos por vigas y columnas sin muros de corte. El objetivo del estudio fue determinar el factor de reducción por ductilidad; por redundancia y por sobre resistencia, que son los factores que intervienen en la evaluación de  $R$ . Este trabajo dio lugar a la realización de 8 tesis de grado realizadas por. Paúl Guerrero (2005), Anuar González (2006), Eduardo Aragón (2007), Paúl Mora (2007), Mario Guadalupe (2007), Fabián Torres (2007), Oswaldo Bernal (2008) y Jorge Guaiña (2008). Un resumen de los trabajos realizados se encuentra en Aguiar (2007,1). En estos trabajos se determinó la sobre resistencia  $\lambda$ , para diferentes valores permisibles de deriva máxima de piso  $\gamma$ . Los valores promedios encontrados se indican en la tabla 1. En la última columna de la tabla 1 se indican los valores promedios, de los promedios y son los que se van a utilizar para hallar el espectro de capacidad. En la tabla 2 se indican los períodos fundamentales medios encontrados a partir de la matriz de rigidez, calculada con inercias gruesas y de la matriz de masas. Campos (2006).

**Tabla 1** Sobre resistencia  $\lambda$  encontradas para el Ecuador. Aguiar (2007,1)

| Pisos | $\gamma = 0.5 \%$ | $\gamma = 1.5 \%$ | $\gamma = 1.5 \%$ | $\gamma = 2.0 \%$ | Promedio |
|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------|
| 1     | 2.06              | 1.38              | 1.18              | 1.07              | 1.42     |
| 2     | 1.98              | 1.38              | 1.20              | 1.12              | 1.42     |
| 3     | 2.03              | 1.44              | 1.20              | 1.12              | 1.45     |
| 4     | 2.00              | 1.39              | 1.18              | 1.10              | 1.42     |
| 5     | 2.10              | 1.47              | 1.20              | 1.12              | 1.47     |
| 6     | 2.09              | 1.41              | 1.22              | 1.12              | 1.46     |

**Tabla 2** Valores medios de los períodos de vibración. Campos (2006).

| Pisos   | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    |
|---------|------|------|------|------|------|------|
| Período | 0.30 | 0.46 | 0.50 | 0.52 | 0.61 | 0.63 |

Por otra parte, el valor de  $\eta$  está alrededor de 1.1; el valor de  $\alpha_1$  se van a considerar los propuestos por HAZUS-99 y es  $\alpha_1 = 0.80$ . Los valores de ductilidad son los indicados en la tabla 3. Aguiar (2007,1) de acuerdo al nivel de diseño.

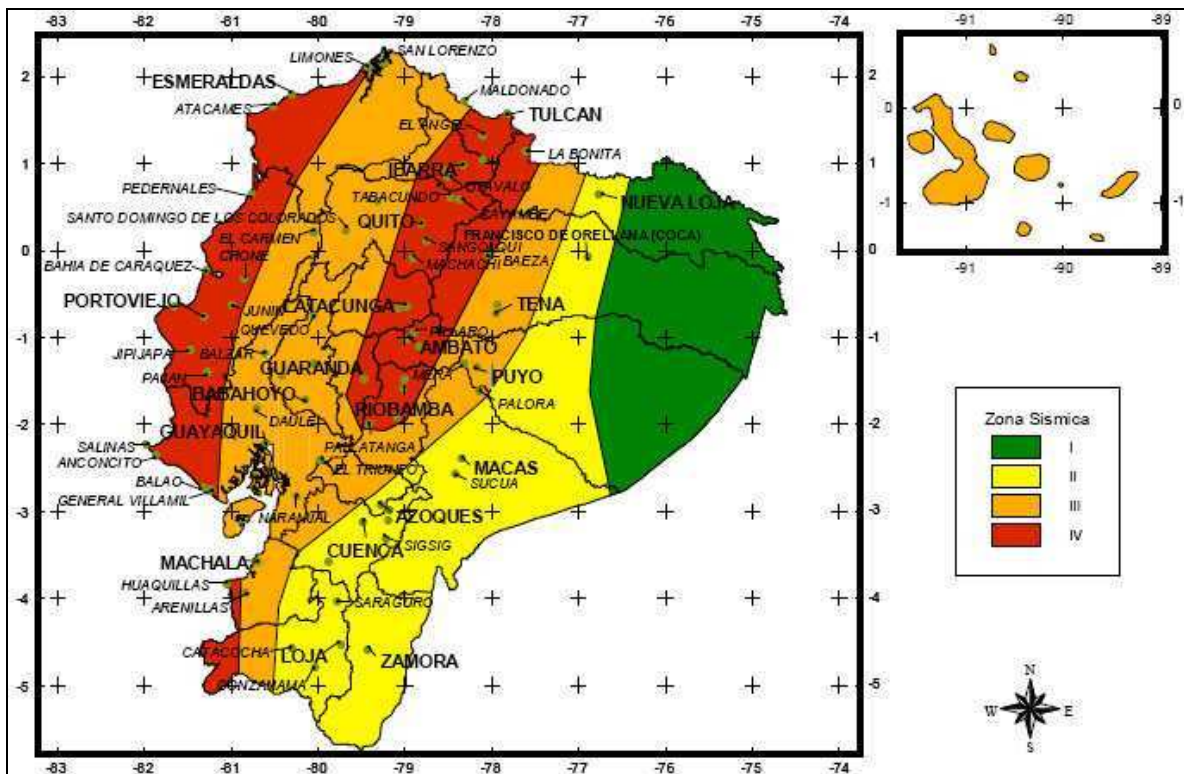
**Tabla 3** Valores de Ductilidad. Aguiar (2007,1)

| Nivel de Diseño | Alto | Intermedio | Bajo | Sin sismo |
|-----------------|------|------------|------|-----------|
| Ductilidad      | 5    | 4          | 3    | 2         |

El coeficiente sísmico  $C_s$  se hallará de acuerdo a la zona sísmica en que se encuentra la edificación.

$$C_s = \frac{V}{W} = \frac{c Z I}{R} \frac{W}{W} = \frac{c Z I}{R} \quad (3)$$

$$c = \frac{1.25 S^s}{T_e} \leq \beta \quad (4)$$



**Figura 1** Zonificación sísmica del Ecuador.

Donde  $Z$  es el factor de zona sísmica, de acuerdo al CEC-2000 en la figura 1 se presenta la zonificación sísmica del Ecuador y los factores de zona se indican en la tabla 4.  $I$  es



el factor de importancia que varía de 1 a 1.5;  $R$  es el factor de reducción de las fuerzas sísmicas. El CEC-2000 considera  $R = 10$  para las estructuras conformadas por vigas y columnas, sin muros de corte. Este valor es siempre y cuando se mayor las cargas sísmicas en las combinaciones de carga, si no se mayor las cargas el valor es  $R = 7$ . Con este valor es que se va a trabajar. Los valores de  $S$  y  $\beta$  están indicados en la tabla 5 de acuerdo al perfil de suelo en que se encuentra la estructura.

**Tabla 4** Factor de Zona Sísmica Z. CEC-2000

|                     |      |      |      |      |
|---------------------|------|------|------|------|
| <b>Zona Sísmica</b> | 1    | 2    | 3    | 4    |
| <b>Factor Z</b>     | 0.15 | 0.25 | 0.30 | 0.40 |

**Tabla 5** Valores de  $S$  y  $\beta$  del CEC-2000.

|                        |     |     |     |     |
|------------------------|-----|-----|-----|-----|
| <b>Perfil de suelo</b> | S1  | S2  | S3  | S4  |
| $S$                    | 1.0 | 1.2 | 1.5 | 2.0 |
| $\beta$                | 2.5 | 3.0 | 2.8 | 2.5 |

### 3. VALORES DE HAZUS PARA ESTRUCTURAS PORTICADAS

HAZUS-99 denomina estructuras C1L a las de Hormigón Armado, formadas por vigas y columnas, sin muros de corte y que tengan de 1 a 3 pisos. Las estructuras de 4 a 7 pisos las llama C1M. Los valores medios de las estructuras analizadas por HAZUS-99 se indican en la tabla 6.

En forma general los valores medios de HAZUS-99 indicados en la tabla 6 son similares a los de las estructuras ecuatorianas a excepción de la sobre resistencia, definitivamente estos valores son muy altos. Las estructuras analizadas en el Ecuador tienen valores de  $\lambda$  que son la mitad de las indicadas en la tabla 6.

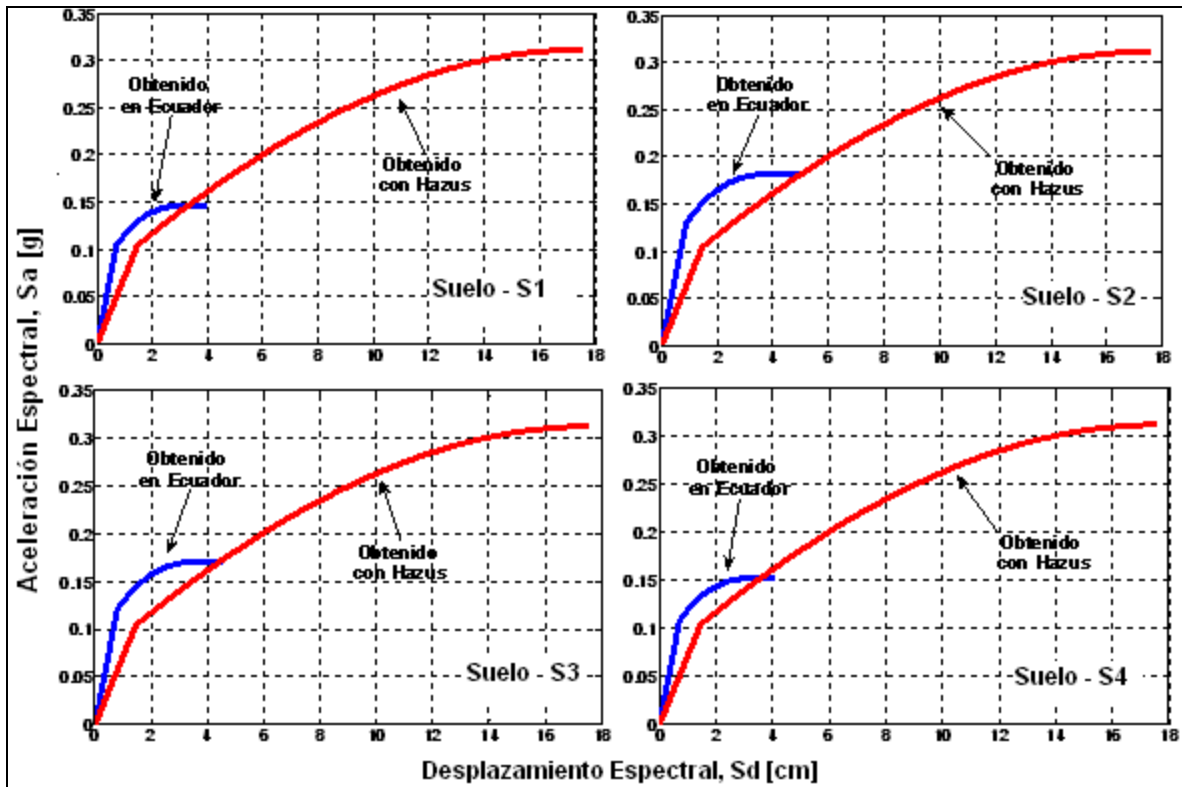
**Tabla 6** Factores de sobre resistencia y modales considerados por HAZUS-99

| Tipos de edificios | Altura media Feet | Período $T_e$ (s.) | Factor Modal    |                   | Sobre resistencia |                  |
|--------------------|-------------------|--------------------|-----------------|-------------------|-------------------|------------------|
|                    |                   |                    | Peso $\alpha_1$ | Altura $\alpha_2$ | Fluencia $\eta$   | Última $\lambda$ |
| <b>C1L</b>         | 20.0              | 0.40               | 0.80            | 0.75              | 1.50              | 3.0              |
| <b>C1M</b>         | 50.0              | 0.75               | 0.80            | 0.75              | 1.25              | 3.0              |

En la tabla 7 se muestran los valores de ductilidad con los cuales trabaja HAZUS-99 para las estructuras C1L y C1M. Para el primer caso los valores de ductilidad esperados son muy altos. En efecto, para estructuras C1L, con un nivel de diseño sísmico alto esperan ductilidad de 8. Para tener este valor la ductilidad por curvatura en vigas debería ser de 24 y esto no se ha tenido en el Ecuador. Aguiar (2007,1)

**Tabla 7** Ductilidades consideradas por HAZUS -99

| Edificio Tipo | Diseño Alto | Diseño Moderado | Diseño Bajo | No considera Sismo |
|---------------|-------------|-----------------|-------------|--------------------|
| <b>C1L</b>    | 8.0         | 6.0             | 5.0         | 5.0                |
| <b>C1M</b>    | 5.3         | 4.0             | 3.3         | 3.3                |



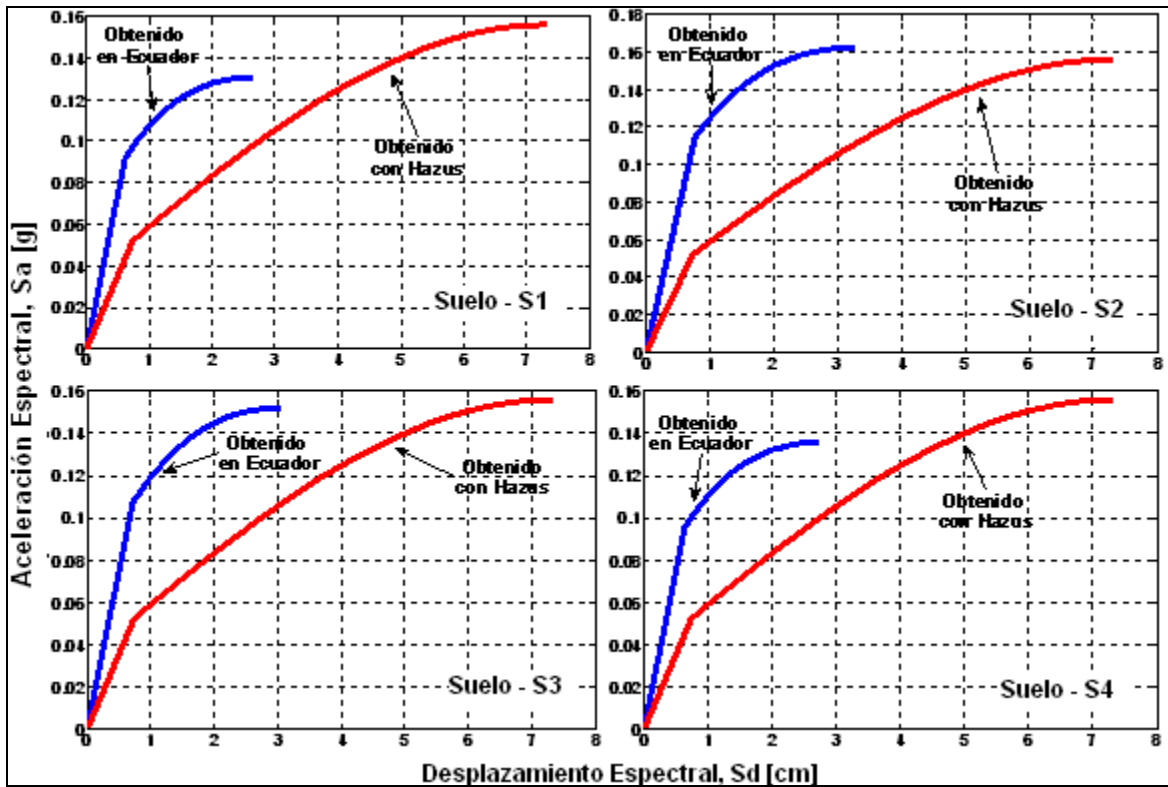
**Figura 2** Comparación de los espectros de capacidad hallados para una estructura de 4 pisos con Nivel de diseño Moderado, en Loja.

#### 4. COMPARACIÓN DE ESPECTROS DE CAPACIDAD

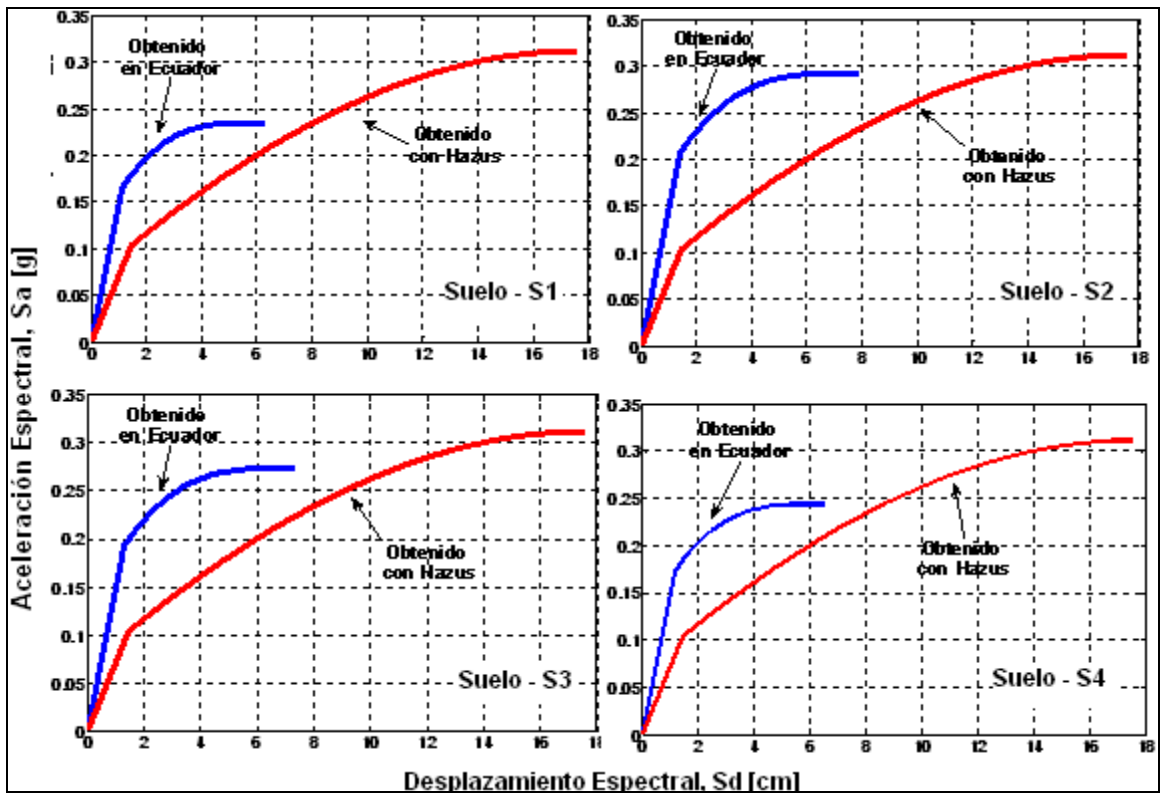
Se entiende que las estructuras diseñadas en Loja a partir del año 2000, en que se promulgó el CEC-2000 fueron diseñadas para  $A_0 = 0.25 g$ . Siendo  $A_0$ , la aceleración máxima del suelo en roca y  $g$  es la aceleración de la gravedad. En consecuencia el Espectro de Capacidad de sus estructuras será menor a las de Quito, por decir algo ya que el valor de  $A_0$  en Quito es  $0.4 g$ .

Con esta introducción, en la figura 2 se presentan los Espectros de Capacidad para una estructura de 4 pisos de 12 m., de altura con Nivel de **Diseño Sísmico Moderado**, se aprecia que las aceleraciones máximas están entre 0.15 y 0.20 de  $g$ . Bastante más bajas a las reportadas por HAZUS-99. En la propuesta de Ecuador el Espectro de Capacidad depende del tipo de suelo, lo cual es lógico, un diseño se tendrá en un perfil de suelo rocoso y otro diseño en un perfil de suelo blando. HAZUS-99 no contempla el tipo de suelo.

En la figura 3 se comparan los Espectros de Capacidad para estructuras de Loja de 4 pisos con **Nivel de Diseño Sísmico Bajo**. Como era de esperarse estas curvas tienen menores aceleraciones espectrales en comparación con las de Nivel de Diseño Sísmico Moderado indicadas en la figura 2 y tienen mejor aproximación con HAZUS-99. El punto de fluencia tiene mejores valores las curvas de Ecuador pero no a sí su incursión en el rango no lineal y esto es debido a que los valores de sobre resistencia y de ductilidad de HAZUS-99 son muy altos.



**Figura 3** Comparación de los espectros de capacidad hallados para una estructura de 4 pisos con Nivel de diseño Bajo, en Loja.



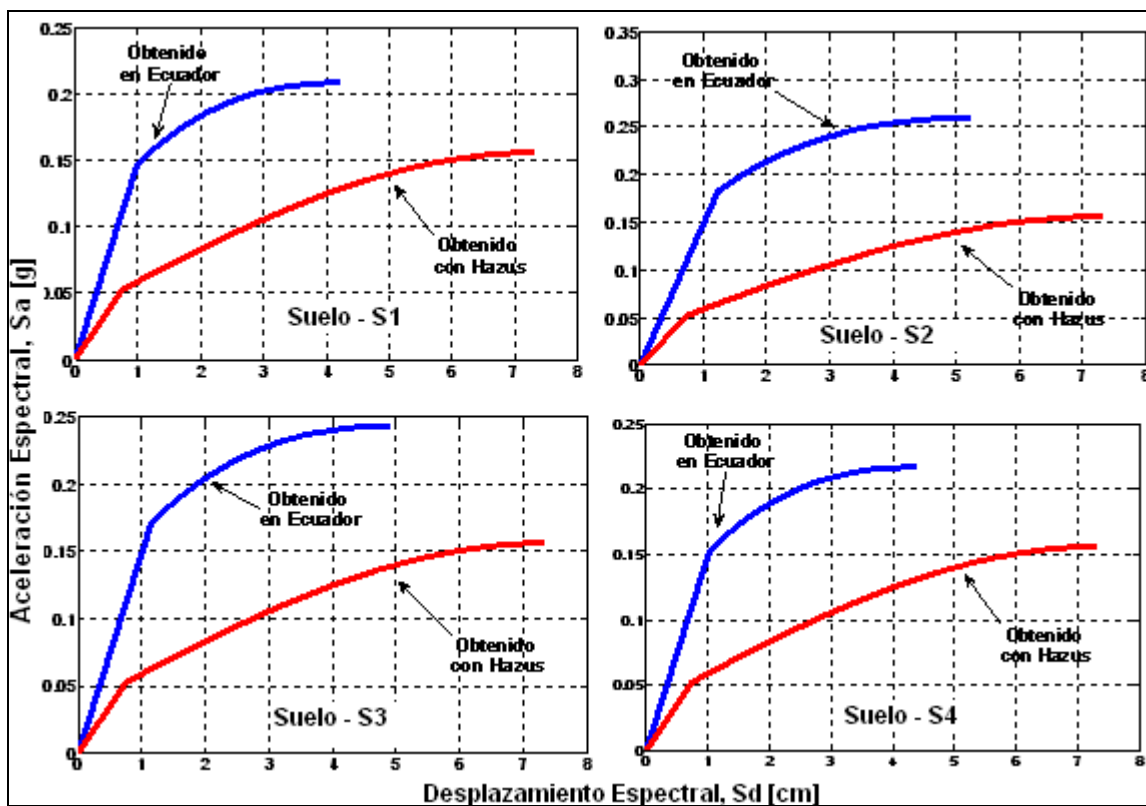
**Figura 4** Comparación de los espectros de capacidad hallados para una estructura de 4 pisos con Nivel de diseño Moderado, en Quito.

En las figuras 4 y 5 se comparan los Espectros de Capacidad hallados para una estructura de 4 pisos ubicada en Quito. Como se indicó anteriormente las estructuras de Quito son diseñadas para  $A_0 = 0.4 g$ , luego tienen mayor capacidad sísmica resistente que las de Loja y esto se aprecia al comparar con las figuras 2 y 3. En la figura 4 se presenta para **Nivel de Diseño Sísmico Moderado** y en la figura 5 para **Nivel de Diseño Sísmico Bajo**.

El Espectro de Capacidad hallado con HAZUS-99 es el mismo para las estructuras situadas en Quito o en Loja. Claro está que HAZUS-99 no fue realizado pensando en las estructuras de Ecuador sino en las del Estado de California. Pero en algunos lugares la gente las utiliza sin ninguna adaptación a la forma constructiva local, por este motivo se escribió este artículo y de paso se presenta las investigaciones realizadas en el CEINCI-ESPE.

En la figura 5 se comparan los Espectros de Capacidad obtenidos para estructuras de Ecuador con las halladas por HAZUS-99 para un **Nivel de Diseño Sísmico Bajo**, para una estructura de 4 pisos. En este caso las estructuras de Ecuador tienen mejor capacidad sísmica resistente. Pero al margen de esto lo importante es reconocer la importancia de adaptar el Programa HAZUS-99 al lugar donde se va a utilizar.

En la carpeta HAZUS de **CEINCI-LAB** existen dos programas que obtienen el espectro de capacidad el uno denominado **ecapacidad** que halla el Espectro de Capacidad con los valores dados por HAZUS-99 para 36 tipologías estructurales y el otro denominado **ecapacidad\_ecuador** que determina el Espectro de Capacidad exclusivamente para estructuras de hormigón armado sin muros de corte de 1 a 6 pisos, encontradas en base a investigaciones realizadas en el Ecuador. **CEINCI-LAB** es un software educativo y práctico desarrollado por Aguiar (2010).



**Figura 5** Comparación de los espectros de capacidad hallados para una estructura de 4 pisos con Nivel de diseño Bajo, en Quito.

## 5. ESPECTRO DE DEMANDA

Se denomina **Espectro Clásico** a los espectros que relacionan el período  $T$  con la aceleración espectral  $S_a$  y se llama **Espectro de Demanda** al espectro que relaciona el desplazamiento espectral  $S_d$  con la aceleración espectral  $S_a$ . A partir de la definición de Pseudo Espectro se pasa del Espectro Clásico al Espectro de Demanda. Aguiar (2007,2).

$$S_d = \left( \frac{T}{2\pi} \right)^2 * S_a \quad (5)$$

Donde  $T$  es el período;  $S_a$  es la aceleración espectral y  $S_d$  es el desplazamiento espectral. Las normativas sísmicas presentan el Espectro Clásico para  $\xi = 0.05$ . Siendo  $\xi$  el factor de amortiguamiento. A partir de este espectro se pueden hallar espectros para cualquier tipo de amortiguamiento multiplicando las ordenadas espectrales por  $f_a$ .

$$f_a = 2 \left( \frac{1 + \xi}{1 + 14.68 * \xi^{0.865}} \right) \quad (6)$$

En la forma clásica de construir, sin aisladores de base, a medida que se incrementa el factor de amortiguamiento  $\xi$  mayor es la disipación de energía y por consiguiente mayor es el daño esperado. Por este motivo los espectros que se obtienen para valores de  $\xi$  mayores a 0.05 son espectros inelásticos.

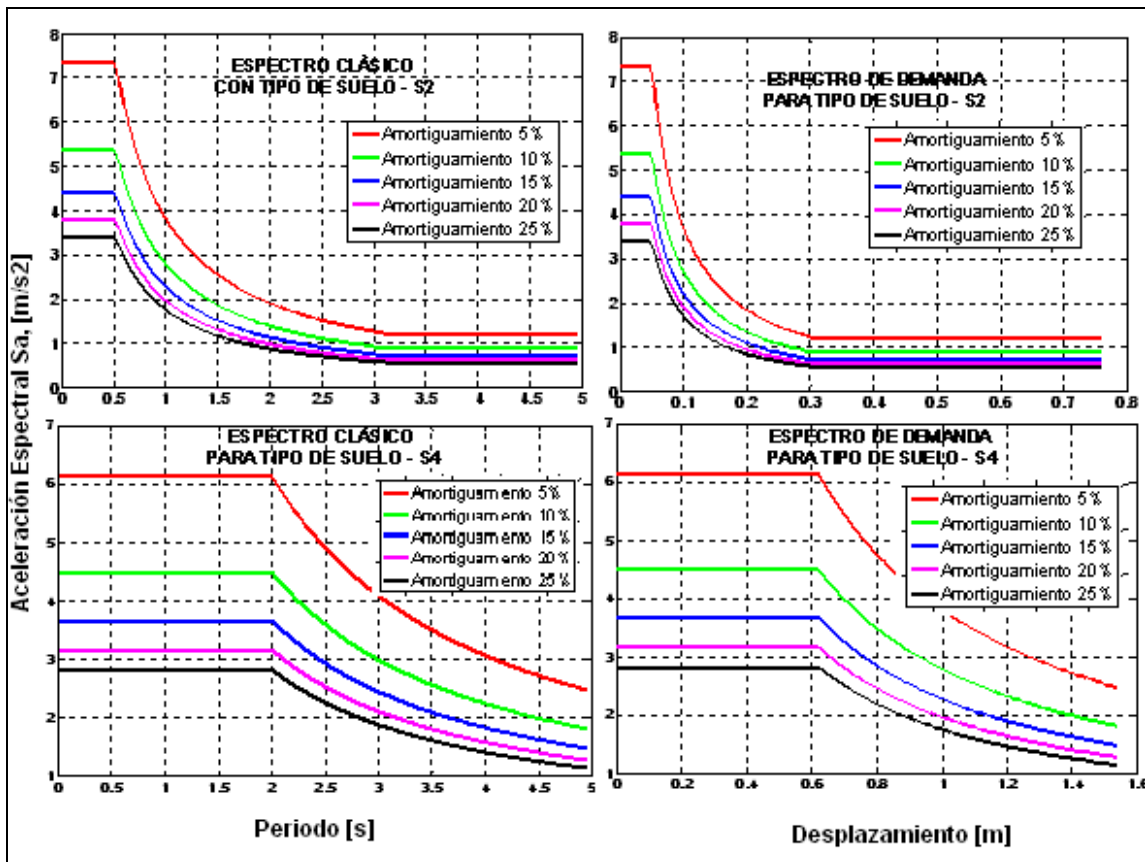
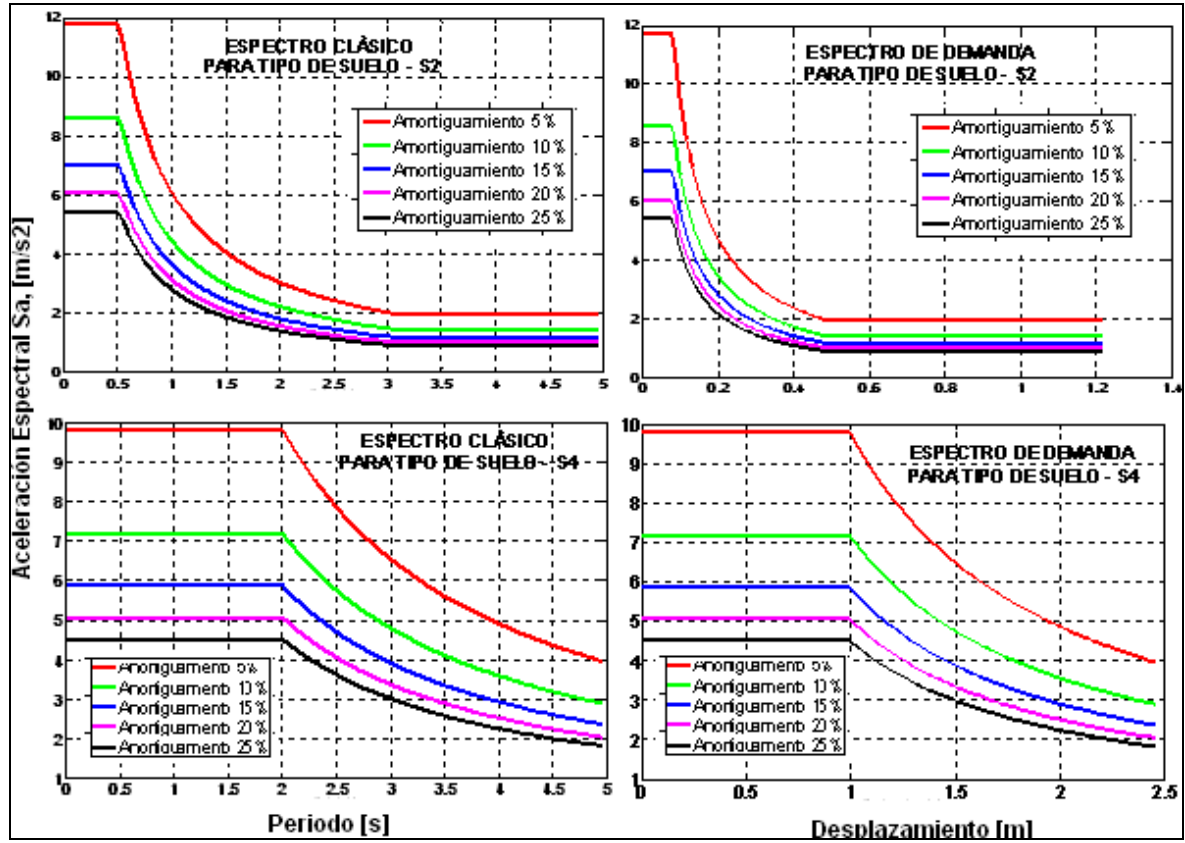


Figura 6 Espectros Clásicos y de Demanda para la ciudad de Loja de acuerdo al CEC-2000.

En las figuras 6 y 7, a la izquierda se presentan Espectros Clásicos y a la derecha Espectros de Demanda, para Loja en la figura 6 y para Quito en la figura 7, de acuerdo al CEC-2000; se ha presentado para perfiles de suelo S2 y S4. Estos espectros fueron obtenidos con el programa *espedem* de la carpeta de **CEINCI-LAB**



**Figura 7** Espectros Clásicos y de Demanda para la ciudad de Quito de acuerdo al CEC-2000.

Otra forma de encontrar espectros inelásticos es a partir del factor de reducción de las fuerzas sísmicas  $R_\mu$ . Para el efecto las ordenadas del espectro inelástico se dividen para  $R_\mu$  y los desplazamientos inelásticos  $S_{dl}$  se hallan multiplicando los desplazamientos elásticos  $S_d$  por el factor  $\beta_3$ .

$$S_{dl} = \beta_3 S_d \quad (7)$$

$$S_{dl} = \frac{S_a}{R_\mu} \quad (8)$$

$$R_\mu = \frac{\mu}{\beta_3} \quad (9)$$

Donde  $S_d, S_a$  son el desplazamiento y aceleración espectral elástica;  $S_{dl}, S_{dl}$  son el desplazamiento y aceleración espectral inelástica;  $\beta_3$  es el factor que permite pasar los desplazamientos elásticos a inelásticos;  $\mu$  es la ductilidad global de la estructura y  $R_\mu$  el factor de reducción de las fuerzas sísmicas por comportamiento inelástico.

Investigaciones realizadas por Aguiar *et al.* (2007) en base a 28 sismos artificiales compatibles con el espectro de diseño del CEC-2000 para la zona de mayor peligrosidad sísmica del Ecuador encontraron que:

$$\beta_3 = 1 + \left[ \left( \frac{a}{\mu^b} + c \right) \left( \frac{T}{T_s} \right)^d \right]^{-1} \quad (10)$$

Donde las constantes  $a, b, c, d, T_s$  fueron determinadas para los cuatro perfiles de suelo del CEC-2000 y están indicadas en la tabla 8, el valor de  $T_s$  es el período a partir del cual empieza la rama descendente del espectro.

**Tabla 8** Valores de  $a, b, c, d$  encontrados en el estudio, y período  $T_s$

| Perfil de Suelo | $a$   | $b$  | $c$   | $d$  | $T_s$ |
|-----------------|-------|------|-------|------|-------|
| <b>S1</b>       | 30.00 | 1.34 | -1.49 | 0.60 | 0.50  |
| <b>S2</b>       | 71.80 | 2.00 | -1.50 | 0.50 | 0.52  |
| <b>S3</b>       | 81.04 | 2.00 | -2.55 | 0.50 | 0.82  |
| <b>S4</b>       | 86.00 | 2.10 | -2.60 | 0.48 | 2.00  |

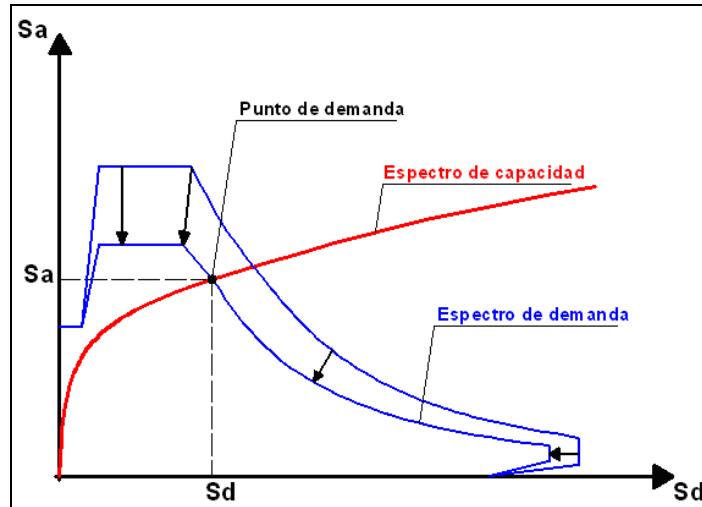
## 6. MÉTODO DEL ESPECTRO DE CAPACIDAD

El Método de Superposición Modal es el que más se utiliza para el análisis sísmico de edificios porque en forma macro reporta resultados confiables para el diseño pero no por ello dejará de ser cuestionado ya que mediante un análisis lineal se encuentra la respuesta no lineal de una estructura empleando espectro inelástico.

La otra opción que dan sus críticos es que se realice un análisis no lineal desde el principio pero este procedimiento es bastante complejo y se requiere tener las armaduras de los elementos estructurales para definir los modelos de histéresis a ser utilizados en el análisis. Pero cuando se está iniciando el cálculo no se tiene las armaduras y de alguna manera se debe realizar el análisis sísmico, por eso se utiliza el Método de Superposición Lineal. Aguiar (2008).

El Método del Espectro de Capacidad, es un método intermedio de análisis sísmico entre el de Superposición Modal que es muy sencillo y el Análisis No Lineal que es bastante complejo, por este motivo este método que fue inicialmente desarrollado por Freeman *et al.* (1975), Freeman (1978); ha vuelto a ser estudiado y perfeccionado por el ATC-40 (1996), Dierlein (1990), Chopra (1999, 2000), entre otros.

En la figura 8 se describe en forma rápida el Método del Espectro de Capacidad. Se aprecia que en un mismo gráfico se ha dibujado el Espectro de Capacidad de la Estructura y el Espectro de Demanda del sismo de análisis, todo esto en el formato desplazamiento espectral  $S_d$ , con aceleración espectral  $S_a$ . Es muy bueno el método ya que de un vistazo uno puede observar el desempeño que va a tener la estructura ante el sismo de análisis; en efecto si estos dos espectros se encuentran bastante distantes habrá mucho daño en la estructura y si se llegan a interceptar las dos curvas como en el caso que se indica en la figura 8 el comportamiento es adecuado.



**Figura 8** Descripción del Método del Espectro de Capacidad para determinar el punto de demanda

En el Método del Espectro de Capacidad lo que se determina es el Punto de Demanda, que es aquel punto que satisface la siguiente condición: La demanda de ductilidad de la estructura  $\mu$  es parecida al factor de reducción de las fuerzas sísmicas  $R_\mu$  hallado para la demanda  $\mu$ . Estrictamente hasta que dos valores de desplazamientos se tengan valores parecidos de  $\mu$  y  $R_\mu$ .

El programa **mechazus** determina el Punto de Demanda con la participación directa del usuario del programa, quien deberá indicar el desplazamiento que estima del punto de demanda. Sea  $S_{dm}$  este desplazamiento; con este valor se obtiene la demanda de ductilidad de la estructura,  $\mu = S_{dm} / D_y$  y también se encuentra  $R_\mu$  con la ecuación ( 9 ). El programa en forma gráfica le presenta el nuevo espectro de demanda y el espectro de capacidad, para que el usuario vuelva a seleccionar otro punto de demanda.

El programa da cinco intentos para seleccionar en forma gráfica el punto de demanda luego de ello, en una tabla le presenta los desplazamientos impuestos  $S_{dm}$ , la demanda de ductilidad hallada  $\mu$ , el factor de reducción por ductilidad  $R_\mu$  y la diferencia entre estos valores en valor absoluto; para que el usuario seleccione cual es a su criterio el punto de demanda,  $S_{dm}$  y la aceleración espectral asociada,  $S_{am}$  para esto se presenta en una tabla el espectro de capacidad de la estructura. Un muy buen criterio de selección es que el usuario se impone el valor de  $S_{dm}$  da al programa y este en forma gráfica le reporta un nuevo punto de demanda, al ver en el gráfico que este valor reportado es semejante al impuesto se tiene el punto de demanda.

## 7. CÁLCULO DEL PUNTO DE DEMANDA

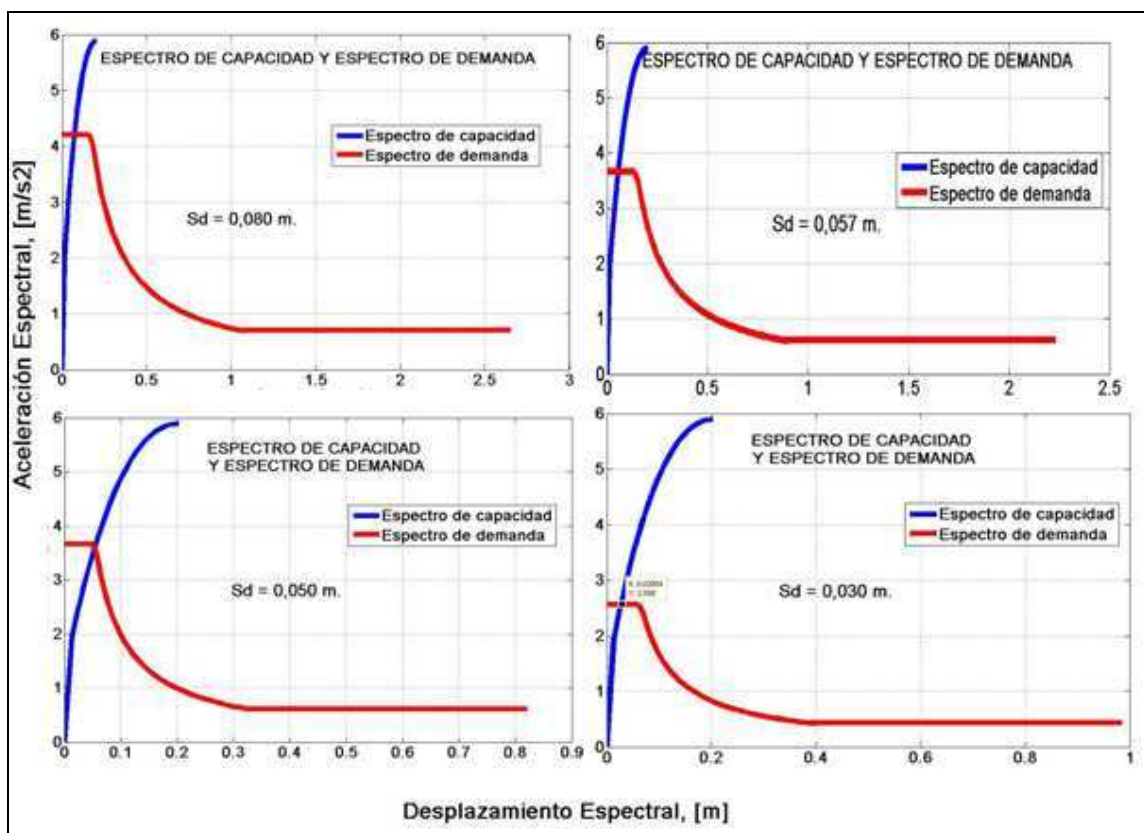
Con el propósito de ver las diferencias que existe en la determinación del Punto de Demanda, empleando el Espectro de Capacidad hallado para las estructuras de Ecuador y el Espectro de Capacidad proporcionado por HAZUS-99; se analiza una estructura de 4 pisos diseñada con un nivel de diseño sísmico muy alto, que está ubicada en Loja, sobre un perfil de suelo S2 y que tiene una altura total de 12 m.



En la figura 9 se presenta los cuatro últimos valores del punto de demanda impuestos para el caso de trabajar con el Espectro de Capacidad hallado para el Ecuador.

**Tabla 9** Valores asociados al punto de demanda. Espectro de Capacidad de Ecuador.

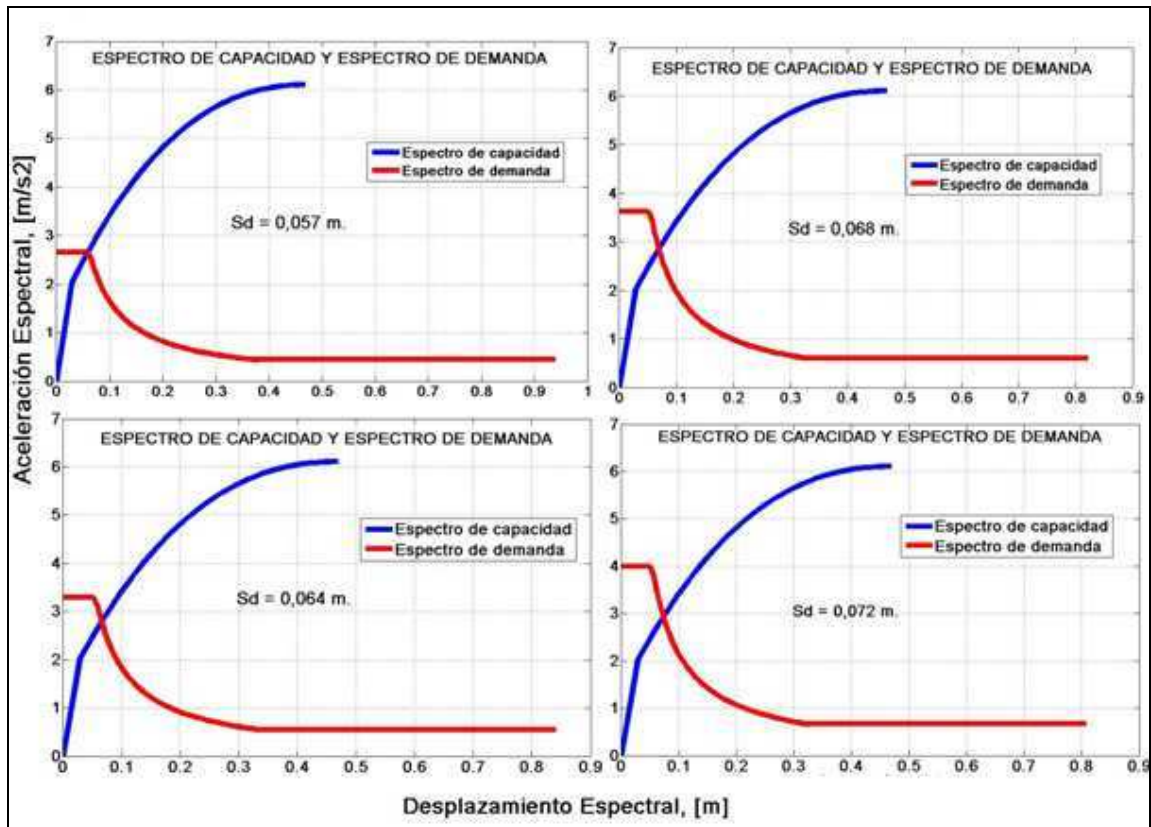
| $S_{dm}$ | $\mu$  | $R_{\mu}$ | $ \mu - R_{\mu} $ |
|----------|--------|-----------|-------------------|
| 0,080    | 5,9001 | 1,7454    | 4,1547            |
| 0,049    | 3,6442 | 2,012     | 1,6322            |
| 0,029    | 2,1617 | 2,8509    | 0,6891            |
| 0,050    | 3,7221 | 2,0046    | 1,7175            |
| 0,030    | 2,1907 | 2,8737    | 0,6831            |



**Figura 9** Punto de Demanda a partir de Espectro de Capacidad encontrado para Ecuador.

Se tiene una muy buena aproximación del punto de demanda entre 3 y 5 cm. Para ir por el lado de la seguridad se considera que  $S_{dm} = 5.0 \text{ cm}$ . Asociado a este valor la aceleración espectral  $S_{am} = 3.5 \text{ m/s}^2$ .

En la figura 10 se muestran los cuatro últimos ciclos hallados a partir del Espectro de Capacidad de HAZUS-99. Todo esto se obtiene con el programa **mechazus**. Los valores del punto de demanda impuestos se resumen en la tabla 10.



**Figura 10** Punto de Demanda a partir de Espectro de Capacidad reportado por HAZUS-99.

**Tabla 10** Valores asociados al punto de demanda. Espectro de Capacidad de HAZUS-99

| $S_{dm}$ | $\mu$  | $R_{\mu}$ | $ \mu - R_{\mu} $ |
|----------|--------|-----------|-------------------|
| 0,100    | 3,4235 | 2,7721    | 0,6514            |
| 0,057    | 1,9514 | 2,7721    | 0,8207            |
| 0,072    | 2,4649 | 1,8364    | 0,6285            |
| 0,064    | 2,191  | 2,2299    | 0,0389            |
| 0,068    | 2,328  | 2,0273    | 0,3007            |

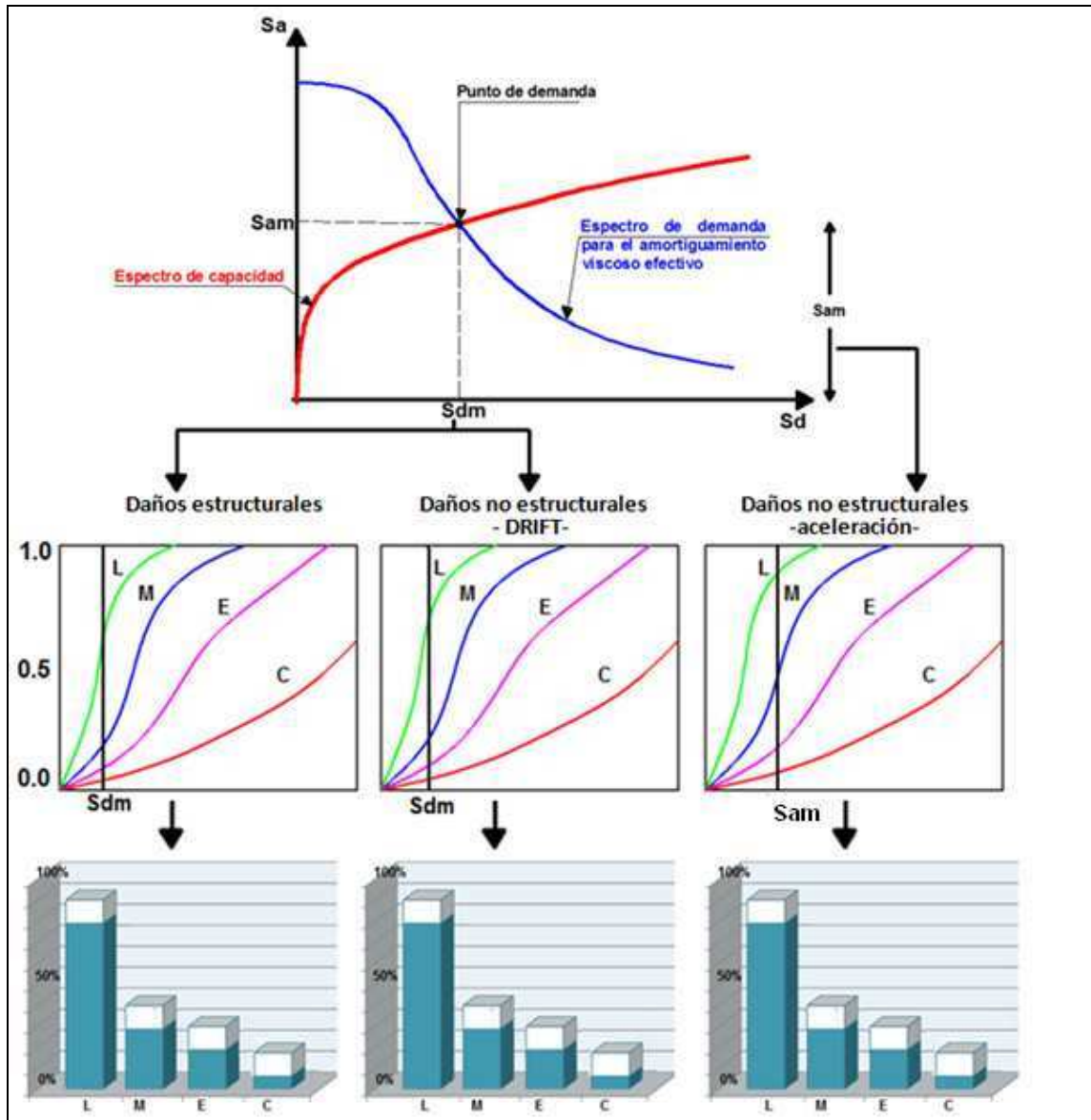
El desplazamiento del punto de demanda en este caso se encuentra entre 5 y 7 cm. Se considera un valor adecuado  $S_{dm} = 6.4 \text{ cm}$ . La aceleración asociada es  $S_{am} = 2.72 \text{ m/s}^2$ .

## 8. ESTIMACIÓN DE PÉRDIDAS

Lo más importante de los estudios de vulnerabilidad sísmica de estructuras es indicar los porcentajes de daño esperado tanto en elementos estructurales, en elementos no estructurales y los contenidos de los edificios.

En función del punto de demanda  $S_{dm}$ , HAZUS-99 obtiene las curvas de fragilidad para encontrar el nivel de daño estructural y no estructural. El daño en los contenidos se encuentra en función de la aceleración espectral del punto de demanda. Los Niveles de daño con los cuales trabaja HAZUS-99 son: Leve, Moderado, Extensivo y Completo; la suma de estos niveles de

daño, en porcentaje debe ser igual al 100%. Se sobre entiende que también hay un porcentaje que no tiene daño.



**Figura 11** Obtención de Niveles de Daño con HAZUS-99

En la figura 11 se muestra en forma esquemática como trabaja HAZUS. En la parte superior aparece el Método del Espectro de Capacidad con el cual se halla el Punto de Demanda. Con las coordenadas de este punto se ingresa en las curvas de fragilidad que están en la parte intermedia de la figura 11 y se hallan los niveles de daño. Nótese que con  $S_{dm}$  se encuentra el daño estructural y no estructural, para el valor de  $S_{dm}$  se ha trazado una línea vertical la misma que intercepta a las diferentes curvas de fragilidad, con lo que se obtiene los niveles de daño.

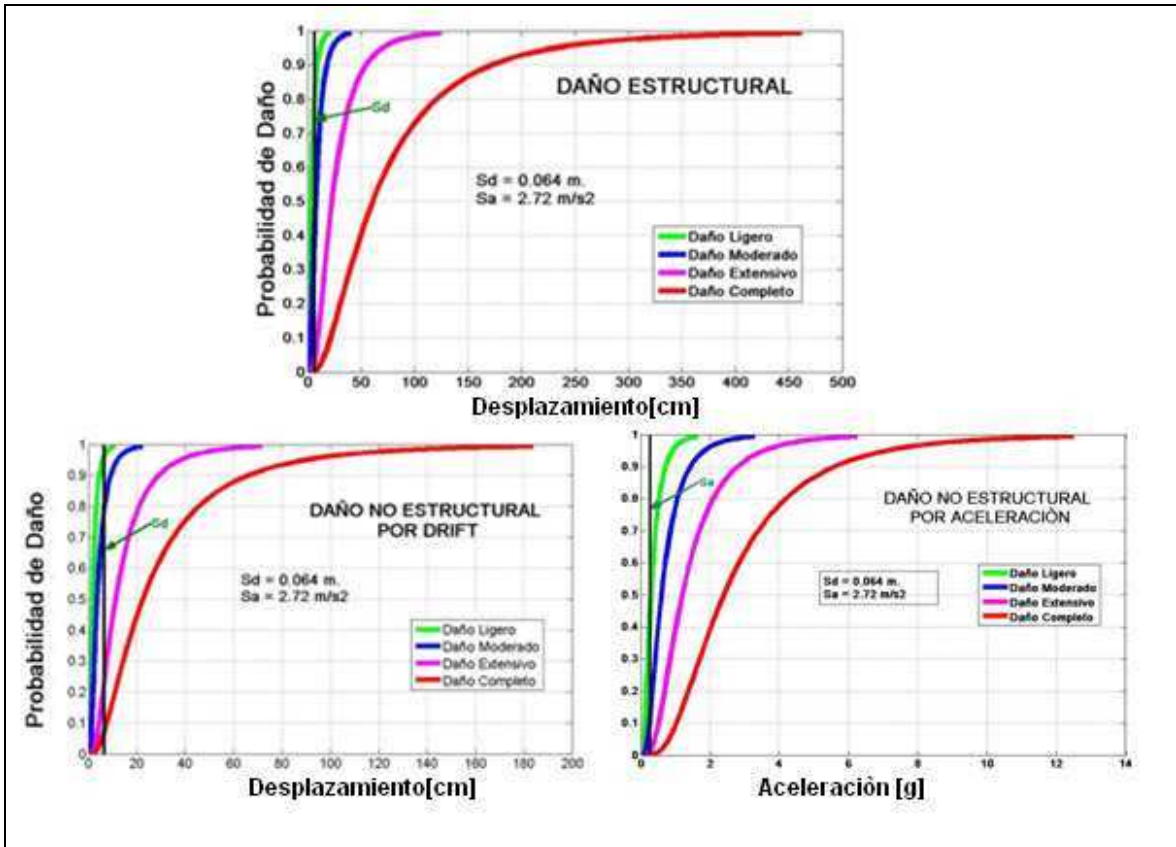
En la tercera gráfica se ingresa con el valor de  $S_{am}$  y se halla el daño esperado en los contenidos debido a caída de los mismos; de igual manera en  $S_{am}$  se levantó una línea vertical y

se ve los puntos de corte en las curvas de fragilidad de daño leve ( L ), moderado ( M ), extensivo ( E ) y completo ( C ).

Dentro de la carpeta HAZUS de **CEINCI-LAB** existe un programa denominado **fragil** que presenta las curvas de fragilidad de HAZUS-99 y obtiene tres vectores en los cuales se halla el nivel de daño esperado en elementos estructurales; no estructurales y contenidos.

Como aplicación, para la estructura de 4 pisos que se ha venido analizando se halla el desempeño, estructural, no estructural y de contenidos; si se trabaja con el Espectro de Capacidad de HAZUS, en que se halló:  $S_{dm} = 6.4 \text{ cm}$ . y  $S_{am} = 2.72 \text{ m/s}^2$ .

En la figura 12 se muestran las curvas de fragilidad que reporta HAZUS-99 para una estructura de 4 pisos y con una línea vertical se indica la recta  $S_{dm}$  en las dos primeras curvas y la recta  $S_{am}$  en la tercera curva. En la tabla 11 se muestran los niveles de daño encontrados y en la tabla 12 lo propio pero trabajando con el espectro de Capacidad hallado para el Ecuador.



**Figura 12** Curvas de Fragilidad para una estructura de 4 pisos, de acuerdo a HAZUS-97.

**Tabla 11** Niveles de daño para  $S_{dm} = 6.4 \text{ cm.}$  y  $S_{am} = 2.72 \text{ m/s}^2$  (HAZUS-99)

| DAÑO:                    | SIN DAÑO % | LIGERO % | MODERADO % | EXTENSIVO % | COMPLETO % |
|--------------------------|------------|----------|------------|-------------|------------|
| Estructural              | 0,00       | 63,14    | 33,70      | 2,88        | 0,28       |
| No estructural por DRIFT | 0,00       | 46,46    | 37,98      | 11,66       | 3,89       |
| Contenidos               | 38,89      | 46,02    | 13,57      | 1,39        | 0,13       |

**Tabla 12** Niveles de daño para  $S_{dm} = 5.0 \text{ cm.}$  y  $S_{am} = 3.5 \text{ m/s}^2$  (Ecuador)

| DAÑO:                    | SIN DAÑO % | LIGERO % | MODERADO % | EXTENSIVO % | COMPLETO % |
|--------------------------|------------|----------|------------|-------------|------------|
| Estructural              | 5,51       | 65,54    | 27,43      | 1,39        | 0,13       |
| No estructural por DRIFT | 0,00       | 51,05    | 37,83      | 8,68        | 2,44       |
| Contenidos               | 10,16      | 61,79    | 24,20      | 3,59        | 0,26       |

Como era de esperarse existe diferencia en los niveles de daño, hallados a partir del Espectro de Capacidad de HAZUS-99 y del Espectro de Capacidad hallados de investigaciones en Ecuador. Pero en las dos tablas (11 y 12) se observa que el desempeño estructural es satisfactorio ya que el daño extensivo y completo es muy bajo ante un sismo muy severo que tiene poca probabilidad de ocurrencia.

## 9. CONCLUSIONES

Se ha presentado el marco teórico desarrollado por el Programa HAZUS-99 para hallar la vulnerabilidad sísmica de ciudades, en forma rápida, el mismo que concluye con la determinación de niveles de daño: estructural, no estructural y de contenidos; en 36 tipologías estructurales. Para cada uno de ellos los niveles de daño son: **Leve**, **Moderado**, **Extensivo** y **Completo**.

HAZUS-99 proporciona los espectros de capacidad de 36 tipologías estructurales de los Estados Unidos, por este motivo en este artículo se presentó los espectros de capacidad para edificios de hormigón armado de 1 a 6 pisos; espectros que fueron hallados de una investigación científica realizada en el CEINCI-ESPE.

Por otra parte, para facilitar la evaluación de la vulnerabilidad sísmica se desarrollaron programas en Matlab, los mismos que han sido incorporados a la librería de programas de CEINCI-LAB. En estos programas se tiene dos opciones para las estructuras de hormigón armado, encontrar el espectro de capacidad con los datos de HAZUS-99 o hallarlo en base a las investigaciones efectuadas en el CEINCI-ESPE. Del estudio realizado se concluye lo siguiente:

- La metodología de HAZUS-99 es muy buena para hallar la vulnerabilidad sísmica de ciudades pero es conveniente que los espectros de capacidad de las estructuras y las curvas de fragilidad sean obtenidas de investigaciones locales.

- El empleo de los programas de CEINCI-LAB facilitan notablemente la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de ciudades empleando la metodología de HAZUS-99.

## REFERENCIAS

1. Aguiar R., (2008), *Análisis Sísmico de Edificios*, Centro de Investigaciones Científicas. Escuela Politécnica del Ejército, 322 p., Quito.
2. Aguiar R., (2007,1) *Factor de reducción de las fuerzas sísmicas en Edificios de Hormigón Armado*, Centro de Investigaciones Científicas. Escuela Politécnica del Ejército, 117 p., Quito.
3. Aguiar R., (2007,2) *Dinámica de Estructuras con Matlab*, Centro de Investigaciones Científicas. Escuela Politécnica del Ejército, 292 p., Quito.
4. Aguiar R., (2006), *Deriva máxima de piso y curvas de fragilidad en edificios de Hormigón Armado*, Centro de Investigaciones Científicas. Escuela Politécnica del Ejército, 188 p., Quito.
5. Aguiar R., (2006), *Deriva máxima de piso y curvas de fragilidad en edificios de hormigón armado*, Centro de Investigaciones Científicas. Escuela Politécnica del Ejército, 188 p. Quito.
6. Aguiar R., (2002), *Sistema de Computación CEINCI3 para evaluar daño sísmico en los Países Bolivarianos*, Centro de Investigaciones Científicas. Escuela Politécnica del Ejército, 302 p., Quito.
7. Aguiar R., Barbat A., (1997), *Daño sísmico en estructuras de Hormigón Armado*, Centro de Investigaciones Científicas. Escuela Politécnica del Ejército, 238 p., Quito.
8. Aragón E., (2007), *Estudio del factor de reducción de las fuerzas sísmicas por ductilidad  $R_{\mu}$  considerando el tipo de suelo*. Tesis de Grado. Carrera de Ingeniería Civil. Escuela Politécnica del Ejército. Quito.
9. ATC-40, (1996), "Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings", *Applied Technology Council*, Redwood City, California.
10. Bernal O., (2008), *Cálculo del factor de redundancia en edificios de hormigón armado de dos vanos*. Tesis de grado. Carrera de Ingeniería Civil. Escuela Politécnica del Ejército. Quito.
11. Carr A., (2000), *Ruamoko. The Maori God of Volcanoes and Earthquakes*, University of Canterbury. Department of Civil Engineering, 234 p., New Zealand.
12. Campos P., (2006) *Análisis del Método de Superposición Modal*, Tesis de Grado. Carrera de Ingeniería Civil. Escuela Politécnica del Ejército. Quito.
13. Dierlein G. and Hsieh H., (1990), "Seismic response of steel frames with semi rigid connections using the capacity spectrum method", *Proc, 4<sup>th</sup> U. S. Nat. Conf. On Earthquake Engineering*, Vol 2, 863-872.
14. Chopra A. and Goel R., (1999), "Capacity-demand-diagram methods for estimating deformation of inelastic structures: SDF systems", *Pacific Earthquake Engineering Research Center*, Rep. No PEER-1999/02, University of California, Berkeley, California.
15. Chopra A. and Goel R., (2000) "Evaluation of NSP to Estimate Seismic Deformation: SDF systems", *Journal of Structural Engineering ASCE*, 126 (4), 482-490.
16. Freeman S. A., Nicoletti J. P., and Tyrell J. V., (1975) "Evaluation of existing buildings for seismic risk - A case study of Puget Sound Naval Shipyard, Bremerton, Washington", *Proceedings of the 6<sup>th</sup> U. S. National Conference on Earthquake Engineering*, Seattle.
17. Freeman S. A., (1978) "Prediction of response of concrete buildings to severe earthquake motion", *American Concrete Institute*, SP-55, 585-605, Detroit.
18. Guadalupe M., (2007), *Sobre Resistencia en edificios de hormigón armado con vigas y columnas. Edificios de tres vanos*, Tesis de grado. Facultad de Ingeniería Civil. Universidad Nacional del Chimborazo. Riobamba.
19. Guaiña J., (2008), *Cálculo del factor de redundancia en edificios de hormigón armado de tres vanos*. Tesis de Grado. Facultad de Ingeniería Civil. Universidad Nacional del Chimborazo, Riobamba.

20. Guerrero P., (2005), *Determinación rápida de la deriva de piso: Análisis de la relación entre el desplazamiento inelástico máximo esperado con el desplazamiento calculado para la respuesta elástica lineal en sistemas de 1 gdl.* Tesis de grado. Carrera de Ingeniería Civil, Escuela Politécnica del Ejército, Quito.
21. González A., (2006), *Determinación del factor de Resistencia por ductilidad considerando el tipo de suelo.* Tesis de grado. Facultad de Ingeniería Civil. Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo.
22. HAZUS (1999), *Earthquake Loss Estimation Methodology*, Federal Emergency Management Agency FEMA and National Institute of Building Sciences NIBS, **Vol 5, Chapter 5**, Washington DC.
23. Kunnath S., and Reinhorn A., (1989), *Inelastic three-dimensional response analysis of Reinforced Concrete Building Structures (IDARC-3D). Part I – Modeling*, National Center for Earthquake, Engineering Research, State University of New York at Buffalo., **Technical Report NCEER-89-0011**, 160 p., Buffalo, New York.
24. Mora P., (2007), *Sobre Resistencia en edificios de hormigón armado con vigas y columnas. Edificios de dos vanos*, Tesis de Grado. Carrera de Ingeniería Civil. Escuela Politécnica del Ejército. Quito.
25. Torres F., (2007), *Análisis de la sobre resistencia local y global en edificios de hormigón armado.* Tesis de grado de Master en Ciencias. Universidad Técnica de Manabí. Portoviejo.