

# Determinación del ángulo de proyección ortogonal de corruga de alambre laminado

José Alfredo **Sánchez de León**

Villacero Planta Trefilados D.D.  
Programa de Investigación Continua  
Departamento de calidad  
Diego Díaz de Berlanga 1005,  
Valle del Nogalar, San Nicolás de los Garza,  
Nuevo León.  
MÉXICO.

Tel. (+5281) 8215 8181  
correo electrónico (email):  
jose.sanchez@villacero.com  
dirac\_1902@hotmail.com

Recibido 01-08-2017, aceptado 26-10-2017.

## Resumen

En el presente trabajo se demuestra matemáticamente la posibilidad de utilizar la proyección ortogonal de la corruga de un alambre laminado sobre una superficie específica, para determinar su orientación, como método alternativo al tradicional. Para lograr esto, se desarrolla una función para calcular la orientación de la misma a partir del ángulo subtendido entre su eje imaginario central de simetría y la base del alambre. Finalmente se presenta una fórmula para aplicar mediante una hoja de cálculo la función obtenida y poder ser utilizada en conjunto con el resto de los valores de las variables inherentes para el completo dimensionamiento del alambre laminado.

**Palabras clave:** determinación de orientación de corruga, alambre laminado.

## Abstract

**(Determination of the Orthogonal Projection Angle of Cold Deformed Wire Rebars)**

In this paper it is mathematically exposed the possibility to deploy the orthogonal projection of the reinforcement bars

(rebars) of a cold deformed steel wire over a specific surface to determinate its orientation, as an alternative method to the traditional one. To reach this, is it developed a function to calculate its orientation by means of the dashing angle between its imaginary symmetric axis against the drawing wire base line. Finally it is given a formula to apply this result through any spread sheet; this along the complementary variable values can fully characterize this steel element.

**Index terms:** Cold deformed steel wire rebars orientation reckoning.

## 1. Introducción

Mediante un proceso de reducción en frío es fabricado el alambre laminado, a partir de otro alambre de mayor diámetro utilizado como materia prima (alambión). El alambre laminado consta de un cuerpo de forma cilíndrica en cuya superficie se encuentra impreso un patrón de crestas con una disposición espacial predeterminada, denominadas corrugas, cuya función en este objeto es la de reforzar el anclaje mecánico de su superficie en el concreto, para las distintas aplicaciones para las cuales puede ser destinado. Para mayor información consultar [1].

De entre las distintas variables que dimensionan completamente este objeto prismático, se encuentra la orientación de la corruga; de acuerdo a la norma NMX-B-253 esta variable tiene que ser medida y controlada. Esta variable es caracterizada mediante el empleo de un instrumento denominado transportador; como este elemento presenta concavidad hacia el centro del alambre, ya que es parte del mismo, su superficie es convexa y no puede ser dimensionada de manera adecuada por medición directa sobre la superficie con un instrumento de medición de longitud, como una regla.

Se propone utilizar como método alternativo la proyección ortogonal de este elemento sobre una superficie para determinar su orientación, mediante la determinación del ángulo subtendido entre su eje simétrico principal y su base con respecto al alambre laminado (véase Fig 1).



**Fig. 1.** Vista general de un alambre laminado grado 50, donde se aprecia la disposición de las corrugas de la superficie.

A continuación, se demuestra matemáticamente la factibilidad de llevar esto a cabo.

## 2. Desarrollo

Sea  $V$  el espacio vectorial  $\mathbb{R}^2$  euclidiano, cuyas bases corresponden los conjuntos  $\{\beta_1 = \{1,0\}, \beta_2 = \{0,1\}\} \in F^2$ , para  $F = \mathbb{R}$ ; de tal manera que este espacio puede ser representado por:

$$V = \{\text{span}(\beta_1) \oplus \text{span}(\beta_2): \text{span}(\beta_1) \cap \text{span}(\beta_2) = 0; \{\beta_1\} \cap \{\beta_2\} = \{\emptyset\}\} \quad (1)$$

con las operaciones ordinarias de adición y multiplicación, de tal manera que representa también un espacio con producto interior cuya métrica [2] viene dada por  $\langle \cdot, \cdot \rangle: V \times V \rightarrow \mathbb{R}$ , por  $\|\phi\| := \langle \phi, \phi \rangle^{1/2}$  para  $\phi \in V$  la métrica euclidiana estándar.

Se define el operador lineal  $T: \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}^2$ ,  $(x, y) \rightarrow T(x, y)$  como la proyección de  $W_1$  a lo largo de  $W_2$  por  $T(W) = W_1$ , donde  $\mathbb{R}^2 \supseteq W = W_1 \oplus W_2$ .

Sea el vector

$$V \ni \phi = \{(\phi_p, 0) + (0, \phi_j): \phi_p, \phi_j \in \mathbb{R}^2\} \quad (2)$$

representado en la figura 2; paralelamente se define

$$V \ni \phi' = \{(0, \phi_i) + (\phi_p, 0) : \phi_p, \phi_j \in \mathbb{R}^2\} \quad (3)$$

Aplicando el operador  $T$  a ambos vectores se obtiene

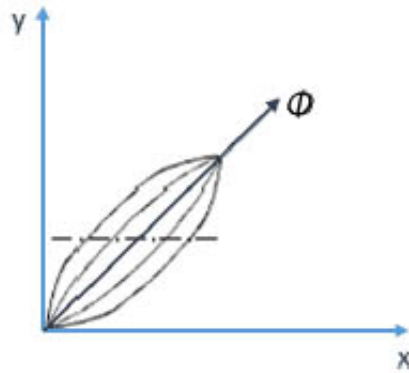
$$T(\phi) = (\phi_p, 0) =: \hat{\phi}_i \quad (4)$$

y también

$$T(\phi') = (0, \phi_j) =: \hat{\phi}_j \quad (5)$$

respectivamente. De manera evidente

$$\{\hat{\phi}_i + \hat{\phi}_j\} \in \phi \quad (6)$$



**Fig. 2.** Representación de la proyección ortogonal de una corruga en el espacio  $\mathbb{R}^2$  euclidiano.

Además, de acuerdo a la definición de  $V$ , y como  $V$  es un espacio vectorial, se tiene que también

$$\phi \in \{\hat{\phi}_i + \hat{\phi}_j\} \quad (7)$$

de tal manera que

$$\{\hat{\phi}_i + \hat{\phi}_j\} = \phi, \text{ y } \phi = \phi' \quad (8)$$

De la definición de ángulo de la norma euclidiana  $\langle \cdot, \cdot \rangle$  en  $V$  se tiene que precisamente el ángulo  $0 \leq \theta \leq \pi$  que existe entre, por ejemplo,  $\hat{\phi}_i$  y  $\phi$ , se encuentra dado por:

$$\begin{aligned} \cos \theta &= \frac{\phi \cdot \hat{\phi}_i}{\|\phi\| \|\hat{\phi}_i\|} = \frac{\{\phi_k\}_{k \in \{i,j\}} \cdot \hat{\phi}_i}{[\sum_{k \in \{i,j\}} \{\phi_k\}^2]^{1/2} [\phi_i^2]^{1/2}} \\ &= \frac{\phi_i}{[\phi_i^2 + \phi_j^2]^{1/2}} \end{aligned} \quad (9)$$

Por trigonometría y de acuerdo a [3] se tiene la identidad

$$\text{sen } \theta = \pm \sqrt{1 - \cos^2 \theta} \quad (10)$$

si se divide esta identidad entre la ecuación recién obtenida, se sustituye el valor para  $\cos \theta$ , y se simplifica, se obtiene

$$\frac{\text{sen } \theta}{\cos \theta} = \frac{\sqrt{1 - \frac{\phi_i^2}{[\phi_i^2 + \phi_j^2]}}}{\phi_i} \sqrt{[\phi_i^2 + \phi_j^2]} = \left[ \frac{\phi_j}{\phi_i} \right] \quad (11)$$

De la definición de la tangente de un ángulo, y por lo anteriormente obtenido, finalmente se tendría que

$$\theta = \arctan \left[ \frac{\phi_j}{\phi_i} \right] \quad \forall 0 \leq \theta \leq \pi \quad (12)$$

que representa el ángulo subtendido entre la base del alambre laminado y la proyección ortogonal de la corruga, en términos de variables que pueden ser fácilmente medidas con un instrumento típico de medición de longitud.

### 3. Aplicación

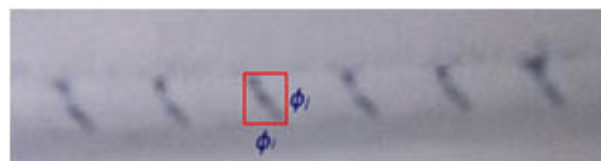
Para la utilización de la función descrita anteriormente en una hoja de cálculo, se define la siguiente fórmula:

$$\text{atan}(\phi_j/\phi_i) (180/\pi()) \quad (13)$$

la cual involucra la conversión de unidades de ángulo sólido de radianes a grados sexagesimales.

### 4. Conclusiones

A través de este documento se ha demostrado matemáticamente la posibilidad de utilizar la proyección ortogonal de las corrugas de la superficie de un alambre laminado, sobre una superficie específica para poder determinar físicamente su



**Fig. 3.** Patrón de proyección ortogonal de corrugas de alambre laminado sobre una superficie de papel. Como se observa, en esta superficie la medición con una regla o un vernier es posible realizarse fácilmente.

orientación. De este análisis se deriva una función la cual puede ser utilizada para este objetivo. En la práctica la proyección ortogonal puede ser cualquier la impresión de algún segmento de alambre con estas corrugas sobre cualquier superficie (por ejemplo, plastilina, hoja de papel).

### Referencias

- [1] Industria Siderúrgica, NMX-B-253-CANACERO-2013, *Alambre de acero liso o corrugado para refuerzo de concreto - Especificaciones y Métodos de Prueba*, Cámara Nacional de la Industria del Hierro y del Acero Organismo Nacional de Normalización, 2013.
- [2] S. H. Friedberg, A. J. Insel & L. E. Spence, *Linear Algebra*, 4a ed., USA: Prentice Hall, 2003.
- [3] M. Dugopolski, *Trigonometry*, USA: Addison Wesley, 2002.