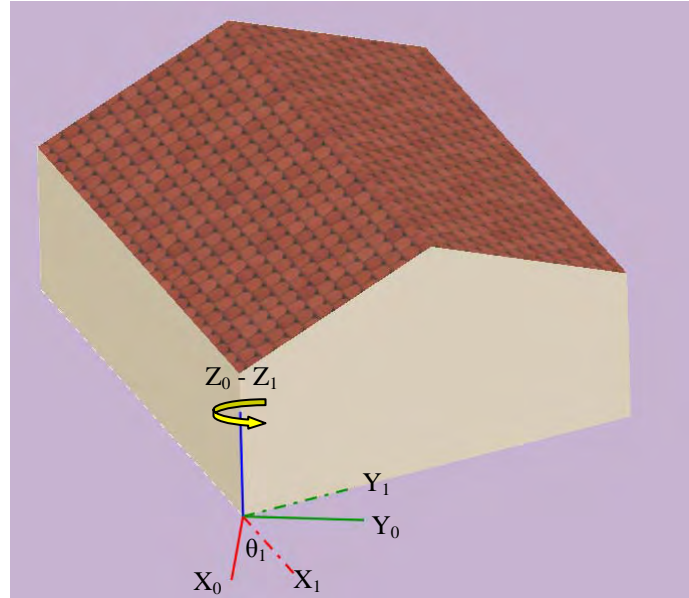


Partimos de unos ejes  $(XYZ)_0$  orientados de tal forma que el eje  $X_0$  (en rojo continuo en la imagen) lo esté hacia el sur, por lo que el eje  $Y_0$  (en verde continuo) representará el este y el eje  $Z_0$  (en azul continuo) la normal al suelo. Sobre esos ejes aplicamos un giro  $\theta_1$  sobre el eje  $Z_0$  de forma que obtenemos el sistema de ejes  $(XYZ)_1$  que serán solidarios con nuestro edificio (definimos el sentido de giro positivo según está en la figura para el criterio de ejes definido a derechas, hay que tener cuidado pues es al contrario al indicado en las instrucciones del IDAE)(en línea discontinua)



Para pasar del sistema de ejes  $(XYZ)_0$  al sistema  $(XYZ)_1$ , tendríamos las expresiones

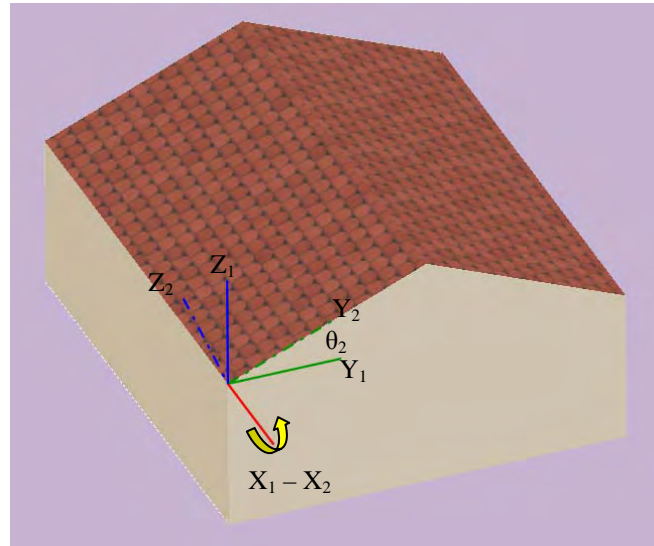
$$\begin{aligned}\vec{i}_1 &= \cos \theta_1 \vec{i}_0 + \sin \theta_1 \vec{j}_0 \\ \vec{j}_1 &= -\sin \theta_1 \vec{i}_0 + \cos \theta_1 \vec{j}_0 \\ \vec{k}_1 &= \vec{k}_0\end{aligned}$$

O expresado de forma matricial...

$$\begin{pmatrix} \vec{i}_1 \\ \vec{j}_1 \\ \vec{k}_1 \end{pmatrix} = A_1 \begin{pmatrix} \vec{i}_0 \\ \vec{j}_0 \\ \vec{k}_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta_1 & \sin \theta_1 & 0 \\ -\sin \theta_1 & \cos \theta_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \vec{i}_0 \\ \vec{j}_0 \\ \vec{k}_0 \end{pmatrix}$$

Siendo  $\vec{i}_n$  el vector unitario del eje  $X_n$ ,  $\vec{j}_n$  el vector unitario del eje  $Y_n$  y  $\vec{k}_n$  el vector unitario del eje  $Z_n$

A continuación considerando los mismos ejes  $(XYZ)_1$  anteriores (por claridad los mostramos ahora en la esquina superior de la nave, en color continuo), damos un giro  $\theta_2$  alrededor del eje  $X_1$  (rojo continuo, que corresponde con el eje longitudinal de la nave) de forma que el eje  $Y_2$  (verde discontinuo) quede según la dirección del agua del lado del tejado donde consideraremos la instalación de los paneles. El eje  $Z_2$  (azul discontinuo) quedará entonces perpendicular al tejado, hacia arriba. El sentido positivo del giro es el indicado para un sistema de ejes a derechas.



Para pasar del sistema de ejes  $(XYZ)_1$  al sistema  $(XYZ)_2$ , tendríamos las expresiones

$$\vec{i}_2 = \vec{i}_1$$

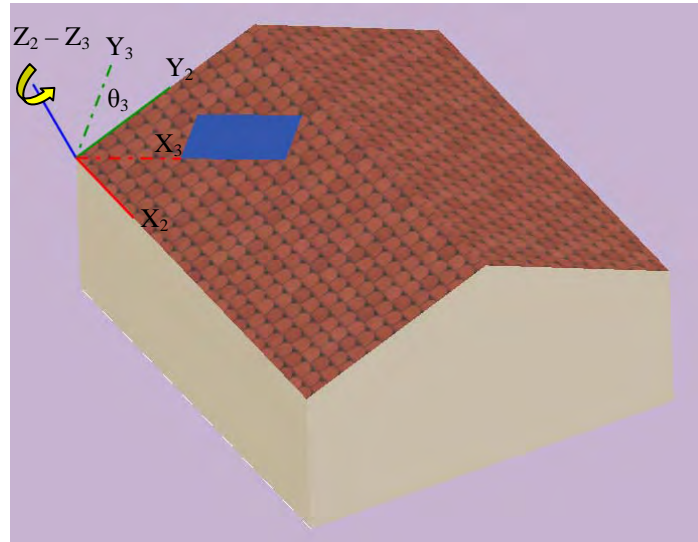
$$\vec{j}_2 = \cos \theta_2 \vec{j}_1 + \sin \theta_2 \vec{k}_1$$

$$\vec{k}_2 = -\sin \theta_2 \vec{j}_1 + \cos \theta_2 \vec{k}_1$$

O expresado de forma matricial...

$$\begin{pmatrix} \vec{i}_2 \\ \vec{j}_2 \\ \vec{k}_2 \end{pmatrix} = A_2 \begin{pmatrix} \vec{i}_1 \\ \vec{j}_1 \\ \vec{k}_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta_2 & \sin \theta_2 \\ 0 & -\sin \theta_2 & \cos \theta_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \vec{i}_1 \\ \vec{j}_1 \\ \vec{k}_1 \end{pmatrix}$$

Trasladamos ahora los ejes a la parte de atrás de la nave y damos un giro  $\theta_3$  alrededor del eje  $Z_2$  de forma que el eje longitudinal de la nave  $X_2$  (en rojo continuo) pasa a tener la orientación del panel  $X_3$  (rojo discontinuo). Este sería el ángulo que se daría a los paneles sobre la cubierta como orientación de los mismos. En la figura, por el momento el panel estaría “acostado” sobre el tejado, esto es, está en el mismo plano del tejado



Para pasar del sistema de ejes  $(XYZ)_2$  al sistema  $(XYZ)_3$ , tendríamos las expresiones

$$\vec{i}_3 = \cos \theta_3 \vec{i}_2 + \sin \theta_3 \vec{j}_2$$

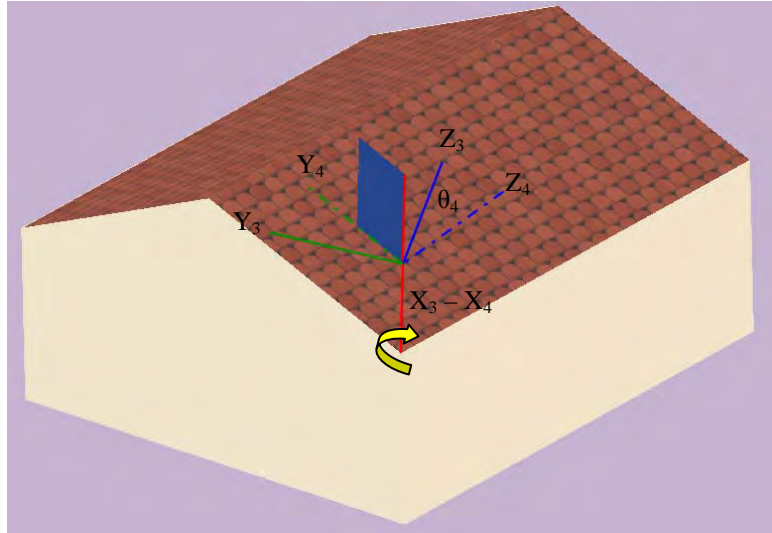
$$\vec{j}_3 = -\sin \theta_3 \vec{i}_2 + \cos \theta_3 \vec{j}_2$$

$$\vec{k}_3 = \vec{k}_2$$

O expresado de forma matricial...

$$\begin{pmatrix} \vec{i}_3 \\ \vec{j}_3 \\ \vec{k}_3 \end{pmatrix} = A_3 \begin{pmatrix} \vec{i}_2 \\ \vec{j}_2 \\ \vec{k}_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta_3 & \sin \theta_3 & 0 \\ -\sin \theta_3 & \cos \theta_3 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \vec{i}_2 \\ \vec{j}_2 \\ \vec{k}_2 \end{pmatrix}$$

Para clarificar el último giro, nos colocamos desde otra perspectiva para verlo mejor. Ahora lo que hacemos es dar un giro  $\theta_4$  alrededor del eje  $X_3$  para “inclinar” el panel respecto del tejado. Después de esta secuencia de giros, el eje perpendicular al panel (la normal al mismo es el eje  $Z_4$  (en azul discontinuo en la figura)



Para pasar del sistema de ejes  $(XYZ)_3$  al sistema  $(XYZ)_4$ , tendríamos las expresiones

$$\begin{aligned}\vec{i}_4 &= \vec{i}_3 \\ \vec{j}_4 &= \cos \theta_4 \vec{j}_3 + \sin \theta_4 \vec{k}_3 \\ \vec{k}_4 &= -\sin \theta_4 \vec{j}_3 + \cos \theta_4 \vec{k}_3\end{aligned}$$

O expresado de forma matricial...

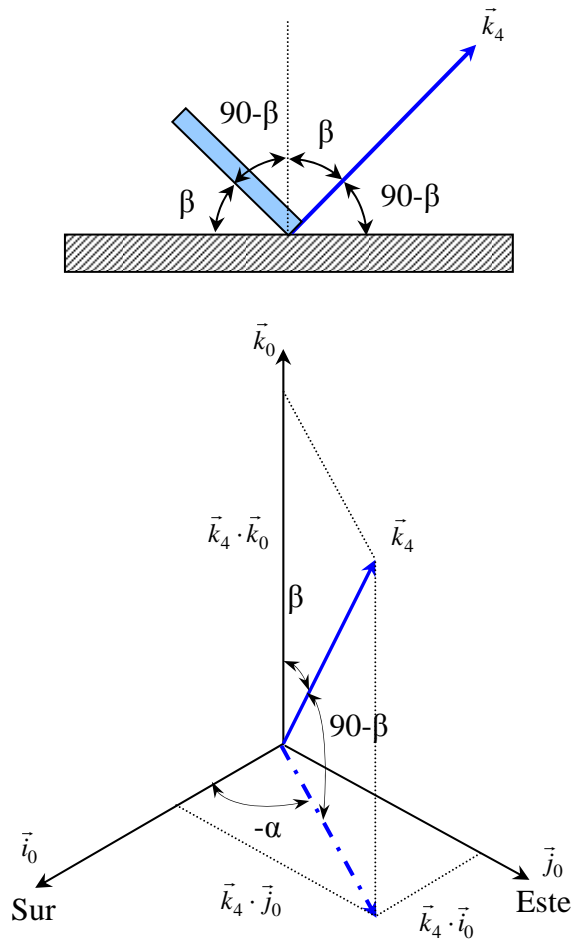
$$\begin{pmatrix} \vec{i}_4 \\ \vec{j}_4 \\ \vec{k}_4 \end{pmatrix} = A_4 \begin{pmatrix} \vec{i}_3 \\ \vec{j}_3 \\ \vec{k}_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta_4 & \sin \theta_4 \\ 0 & -\sin \theta_4 & \cos \theta_4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \vec{i}_3 \\ \vec{j}_3 \\ \vec{k}_3 \end{pmatrix}$$

Para conocer las pérdidas que tendría el panel por orientación, a partir de las expresiones dadas en el pliego de condiciones técnicas del IDAE, necesitamos conocer el ángulo de inclinación  $\beta$  del módulo con respecto al plano horizontal (el suelo) y el ángulo de azimut  $\alpha$ , que es el ángulo entre la proyección sobre el plano horizontal de la normal a la superficie del módulo y el meridiano del lugar.

Esto es, necesitamos la normal al módulo, que corresponde al eje  $\vec{k}_4$ , pero expresada en ejes  $(XYZ)_0$ . Habiendo calculado las matrices anteriores, las componentes de los vectores  $\vec{i}_4$ ,  $\vec{j}_4$  y  $\vec{k}_4$  se pueden sacar de la expresión...

$$\begin{pmatrix} \vec{i}_4 \\ \vec{j}_4 \\ \vec{k}_4 \end{pmatrix} = A_4 A_3 A_2 A_1 \begin{pmatrix} \vec{i}_0 \\ \vec{j}_0 \\ \vec{k}_0 \end{pmatrix}$$

El ángulo  $\beta$  está definido a través del módulo, no de la normal, pero como ambos forman  $90^\circ$ , se ve en la figura la equivalencia entre el ángulo del módulo y el suelo con el ángulo entre la normal y el suelo



En la figura, se puede ver que el ángulo  $\beta$  lo obtendremos de

$$\beta = \cos(\vec{k}_0 \cdot \vec{k}_4)$$

Y que el ángulo  $\alpha$  lo obtendremos de

$$\alpha = -a \tan \left( \frac{\vec{k}_4 \cdot \vec{j}_0}{\vec{k}_4 \cdot \vec{i}_0} \right)$$