Análisis estadístico de discontinuidades en roca

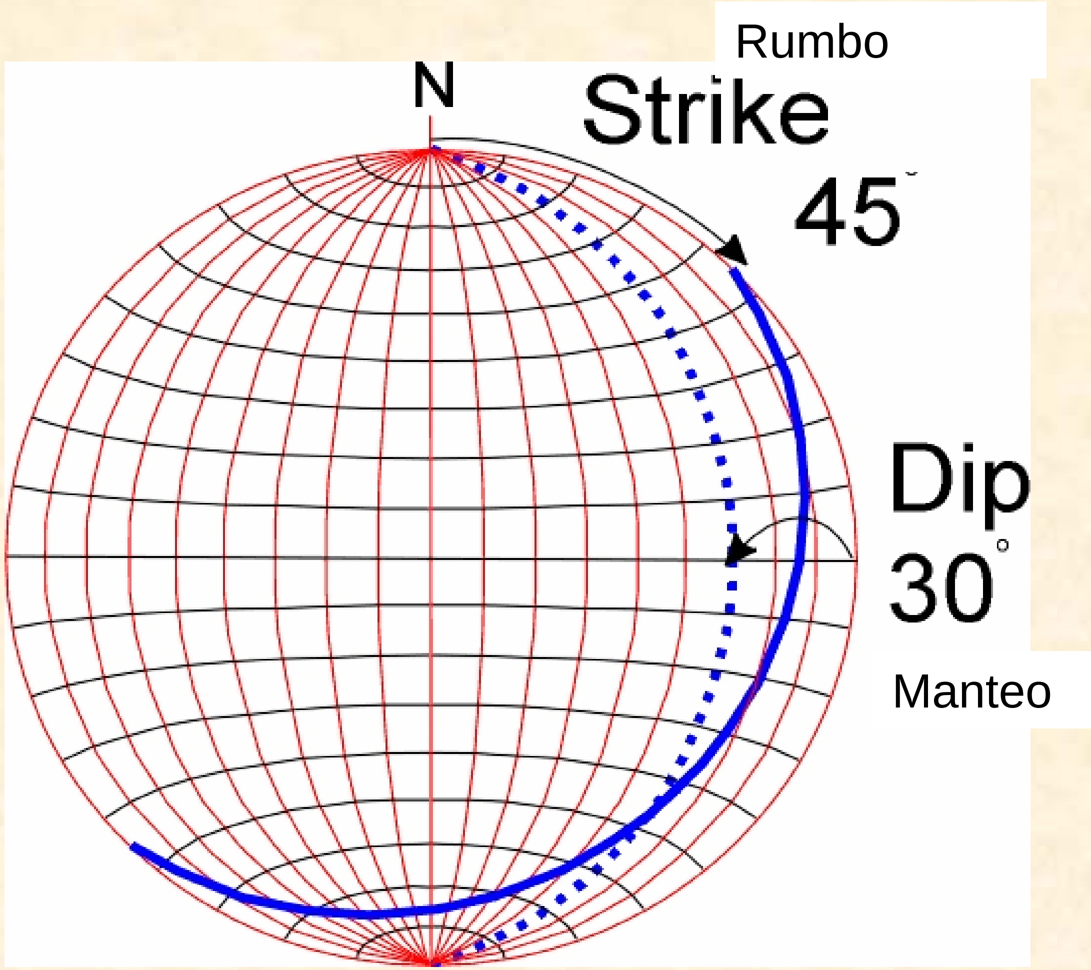
CI52T

Sergio Sepúlveda

Análisis de Discontinuidades

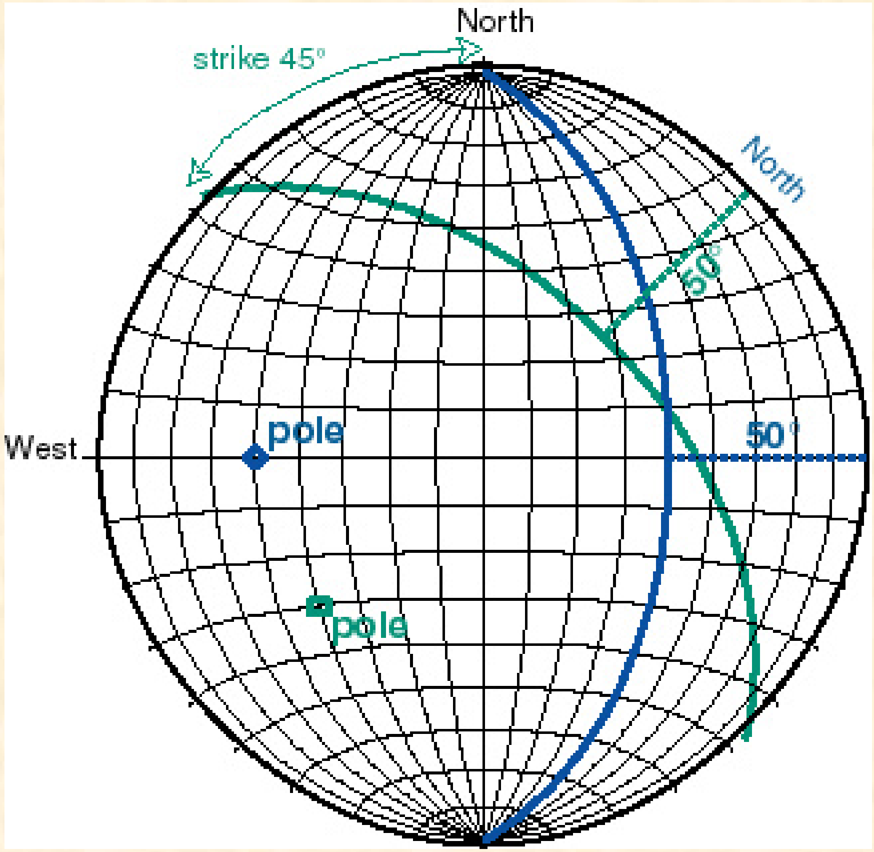
- Medición en terreno
- Base de datos
- Ploteo de planos o polos
- Análisis estadístico
- Definición de sets de estructuras y su orientación representativa.

Representación de Discontinuidades



Las discontinuidades se pueden representar gráficamente usando la proyección estereográfica, como vimos la clase pasada. Cada discontinuidad se representa por un plano.

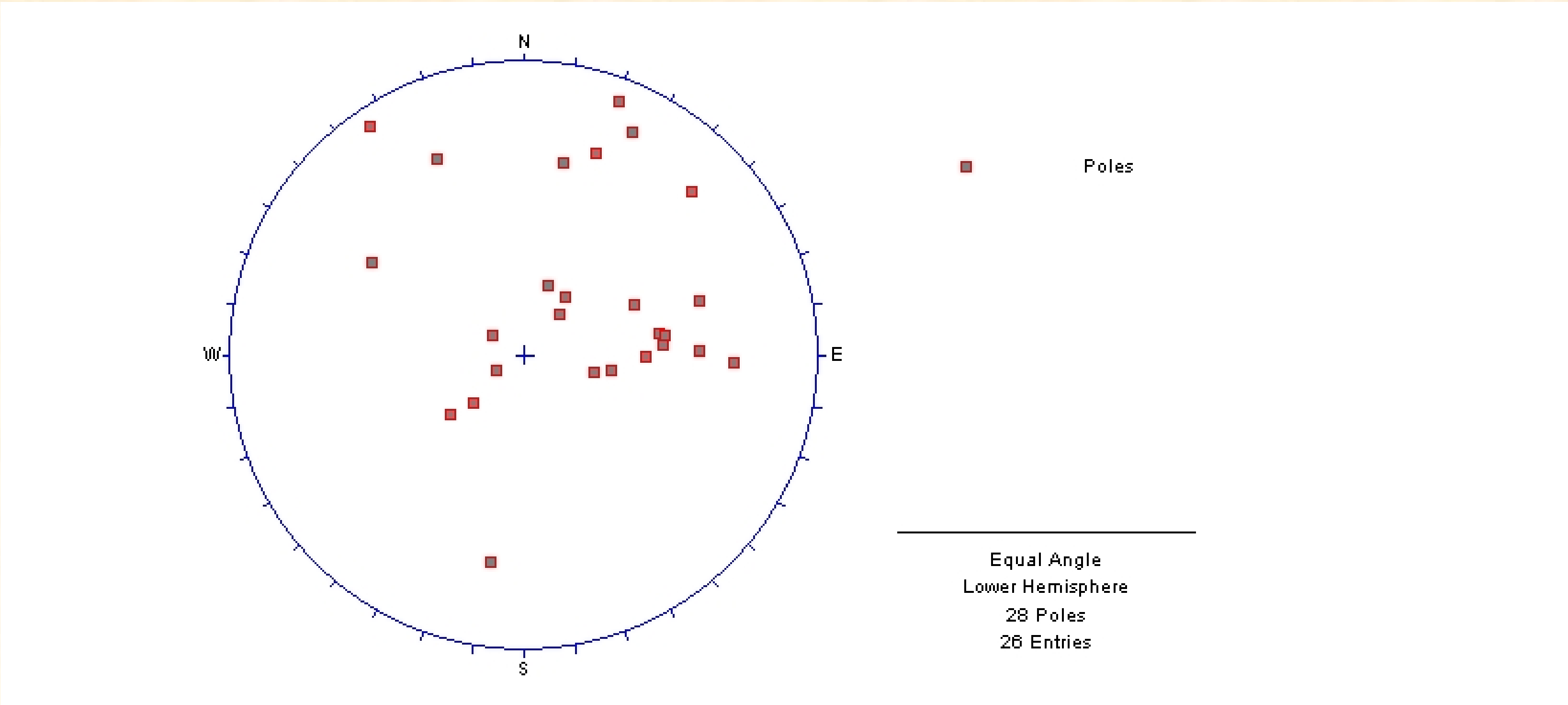
Polos de un plano



- Para trabajar con un alto número de datos, es más conveniente usar los polos de cada plano. Se le llama polo de un plano a una línea normal al plano. En la proyección estereográfica, corresponde a un punto a 90º del plano medido ortogonal al rumbo.

Diagrama de Polos

- Una vez ingresados los datos de orientación de las discontinuidades, el primer paso es generar un diagrama de polos.

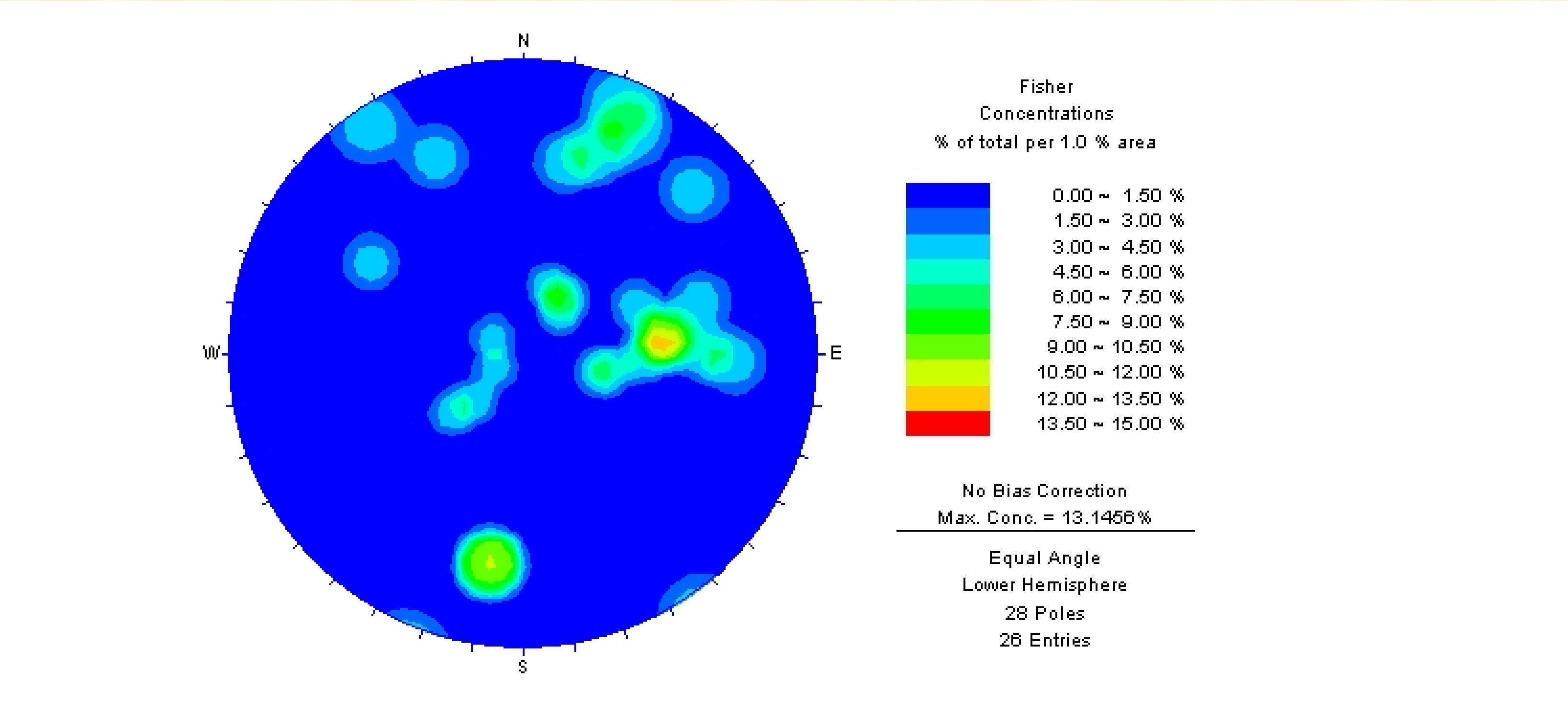


Sets de Discontinuidades

- En la naturaleza, es muy común que las discontinuidades de un sector tengan orientaciones preferenciales, formando sets o sistemas. Esto obedece a que los procesos de formación de discontinuidades (por ejemplo depositación sedimentaria o por falla en tracción o cizalle) está controlado por ciertas orientaciones (de depositación horizontal, dirección de esfuerzos principales, etc.).

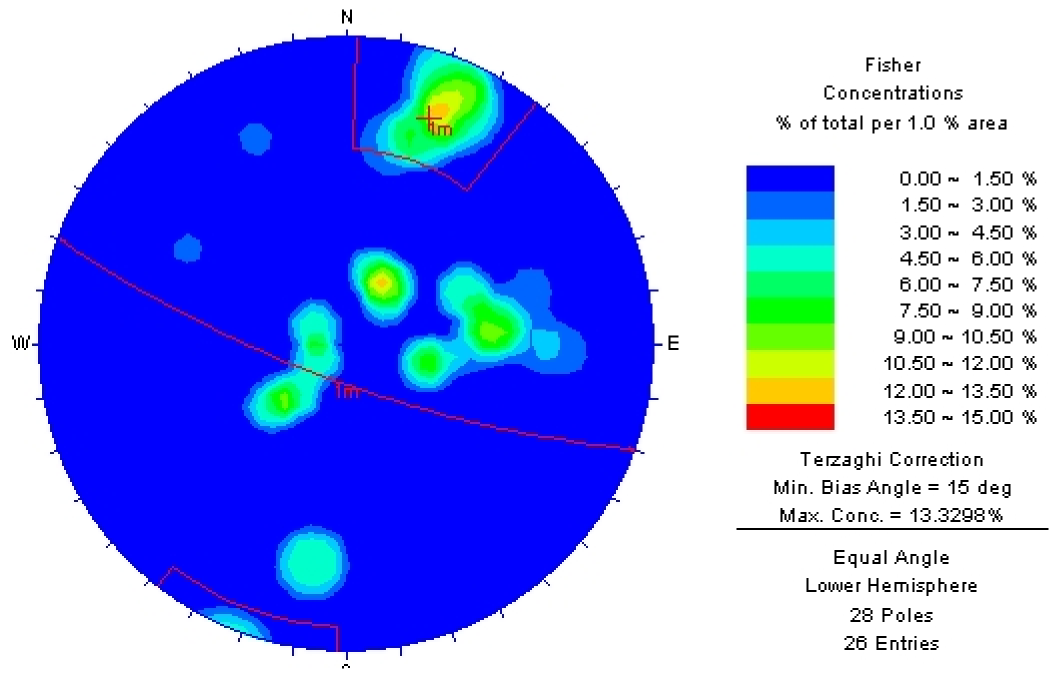
Diagrama de Contorno o Densidad

- A través de métodos de contorno, en que se promedia la concentración de polos en un área dada de la red, se pueden visualizar los sets de discontinuidades más importantes. La llamada concentración de Fisher representa el % del total de polos por cada un 1% de área del círculo de referencia.

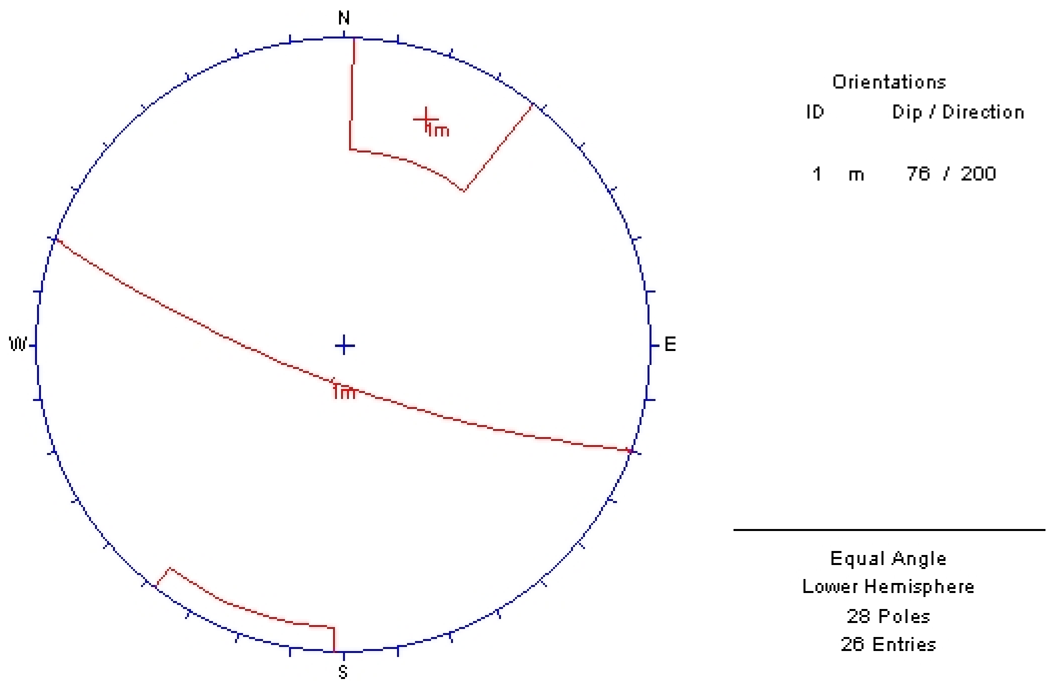


Selección de Sets

- A partir de un diagrama de contornos, se pueden seleccionar ventanas en la zonas de mayor densidad de polos, y para esas ventanas se define el vector promedio o resultante. Al hacer esto para cada set relevante, se define una orientación representativa de cada sistema de discontinuidades, la cual se puede utilizar en análisis posteriores, por ejemplo de estabilidad de taludes o túneles.



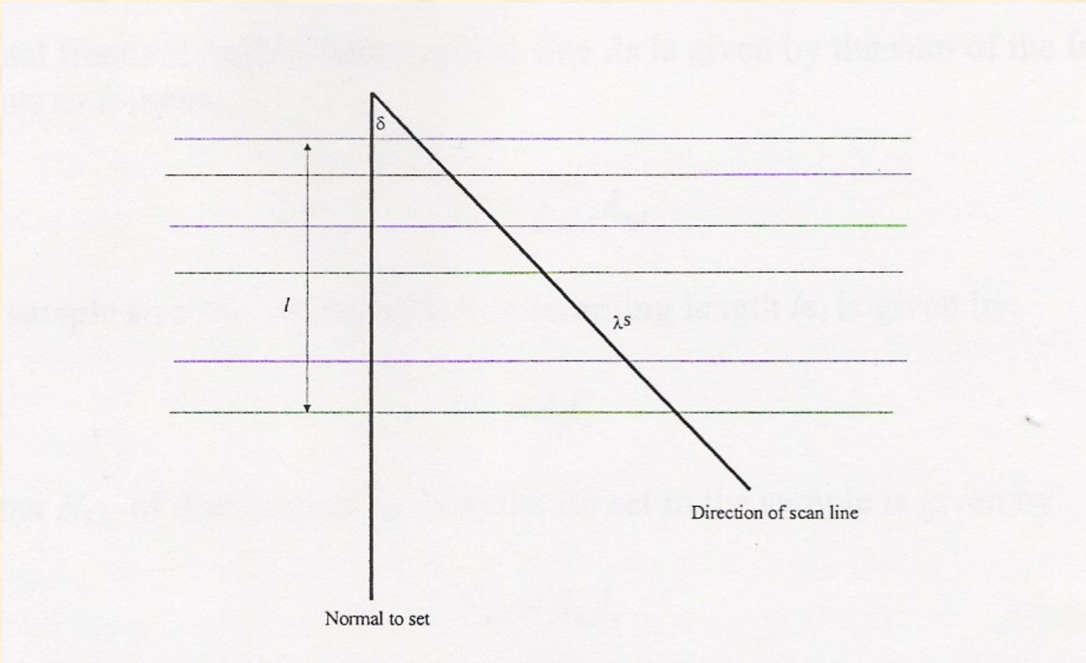
Selección de ventana y cálculo de R



Ploteo de plano representativo del set y su orientación

Corrección de Terzaghi

- Como vimos anteriormente, el espaciamiento (frecuencia) medido en terreno no es el espaciamiento (frecuencia) real de cada set. Este hecho afecta el número de discontinuidades que uno mapea y por tanto la densidad de polos, debiendo hacerse una corrección.



Corrección de Terzaghi

- La frecuencia real de un set está dada por: $\lambda = \dfrac{\lambda_s}{\cos\delta}$

  donde δ es el ángulo entre la normal al plano y la línea de mapeo (corrección de Terzaghi), medible en el estereograma.
- Para un conjunto de sets, el número mapeado de discontinuidades del i-ésimo set, $N_{s\,i}$, en un largo de la línea de mapeo l_s , está dado por

$$N_{s\,i} = \lambda_{si}\, l_s$$

- Al aplicar la correción de Terzaghi, el número corregido de discontinuidades del set es:

$$N_i = \frac{\lambda_{si} l_s}{\cos\delta_i}$$

Factor de Ponderación

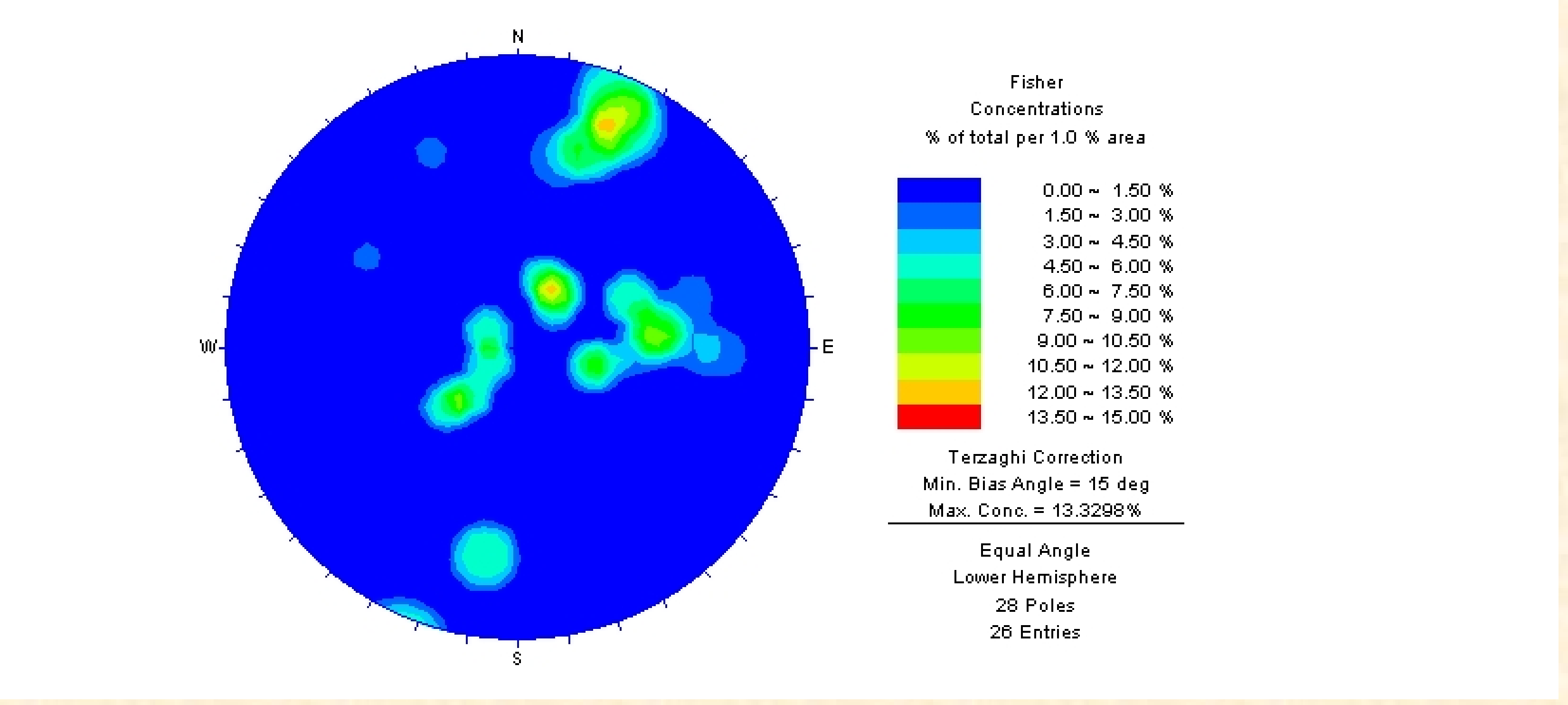
- Dado que las discontinuidades de un set no son perfectamente paralelas, podemos aplicar la correción de Terzaghi a cada discontinuidad. Se le llama “Factor de Ponderación” (weighting factor) a:

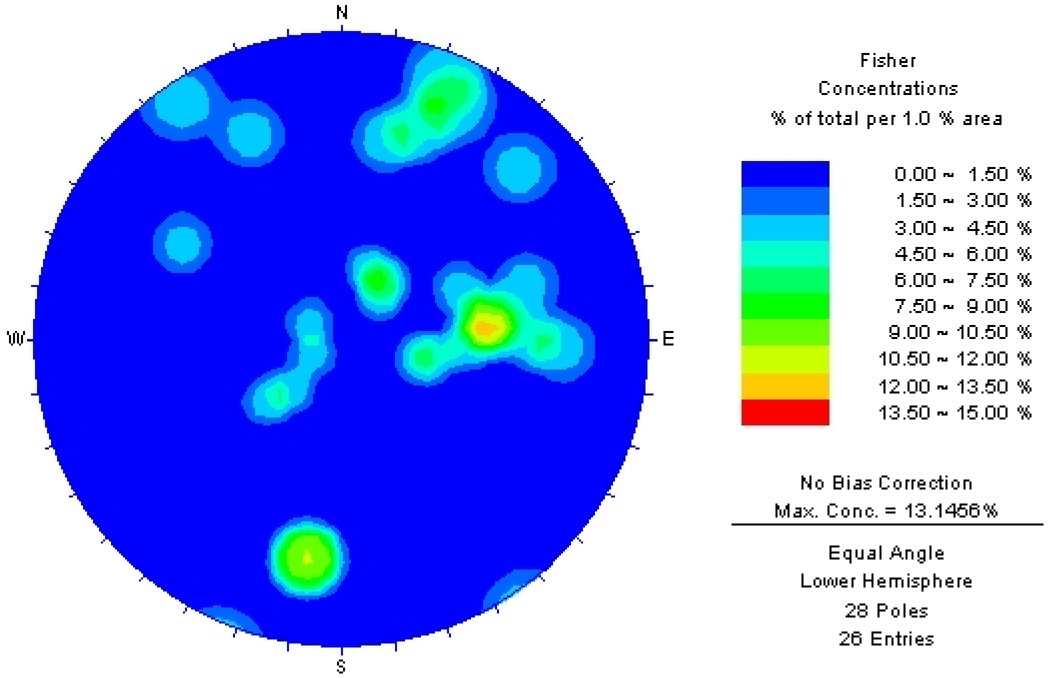
$$\omega = \frac{1}{\cos \delta}$$

- Dado que para valores muy altos de δ (línea de mapeo subparalelo a la discontinuidad) el valor de ω se dispara, se recomienda usar un valor máximo de δ de 75º (ángulo mínimo entre la línea de mapeo y la discontinuidad de 15º).

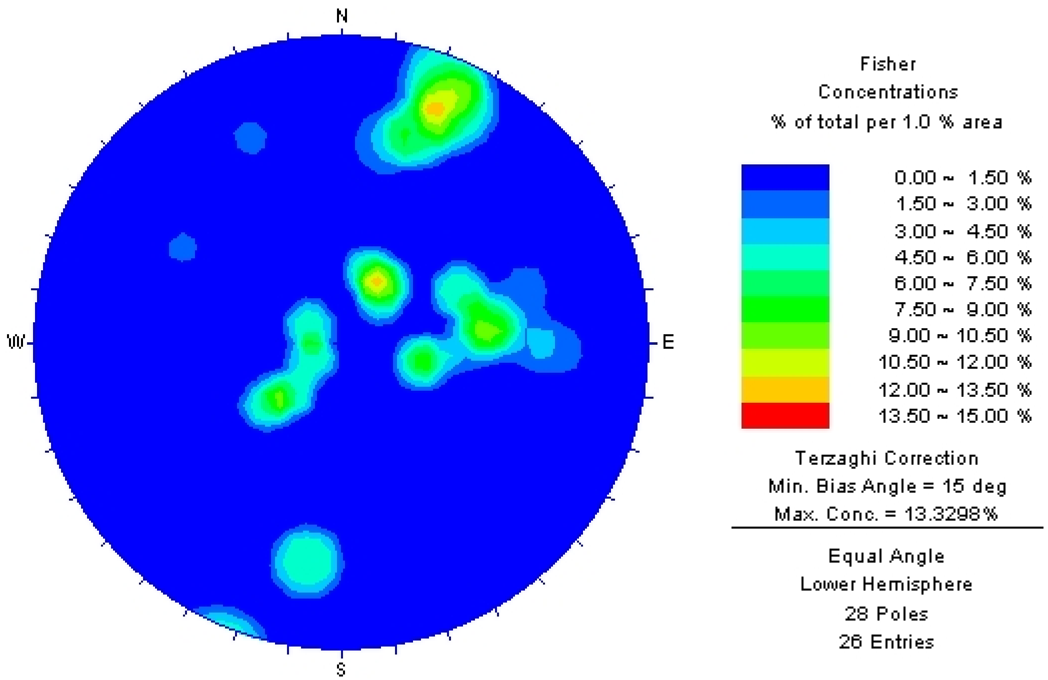
Densidad Ponderada de Polos

- Al aplicar la corrección de Terzaghi al conjunto de datos usando el factor de ponderación, se puede obtener un diagrama de contornos “ponderado”, que representa mejor la concentración real de discontinuidades.





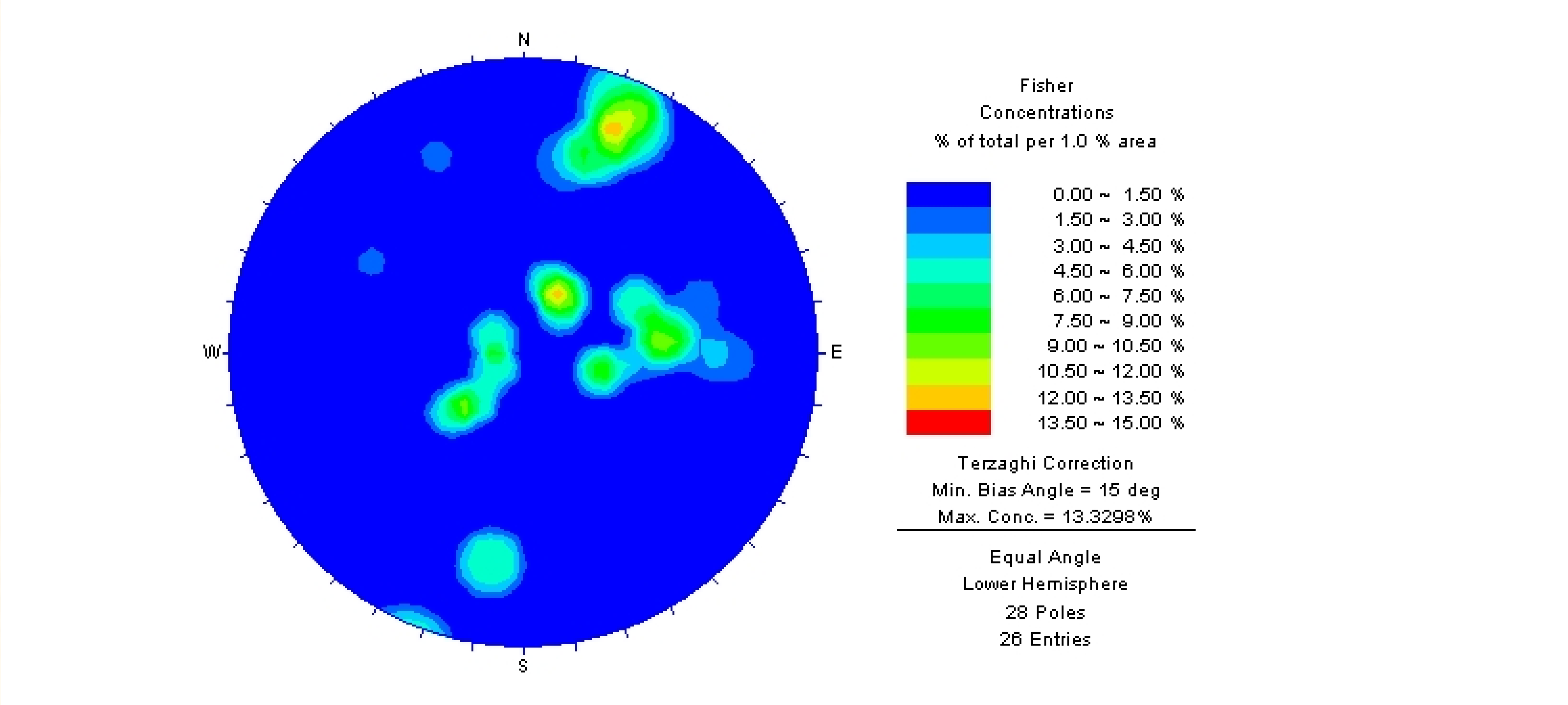
Sin corrección



Con corrección

Distribución de Fisher

- En el diagrama de contornos se observa que cada set presenta una cierta dispersión en torno a un vector "promedio", que obedece a una distribución normal hemisférica (Fisher, 1953).



- El vector “promedio” o resultante R, se puede calcular a partir de propiedades de la proyección estereográfica. Por ejemplo, para una proyección en el hemisferio superior para un conjunto de discontinuidades (Goodman, 1989):

Each joint normal can be considered a unit vector and the orientation of the resultant of all the individuals of a cluster represents the preferred orientations (the ‘‘mean’’) of the set. The summation can be accomplished by accumulating the direction cosines (see Appendix 1). Let x be directed horizontally and north, y horizontally and west, and z vertically upward. If a normal to a joint plane rises at angle δ above horizontal in a direction β measured counterclockwise from north, the direction cosines of the normal to the joints are

$$l = \cos\delta\cos\beta$$
$$m = \cos\delta\sin\beta \tag{5.1}$$

and

$$n = \sin\delta$$

If many joints are mapped in one set, the preferred, or mean orientation of the joint set is parallel with the line defined by direction cosines equal to the sums of all individual l's, m's and n's; dividing by the magnitude of this resultant vector gives the direction cosines (l_R, m_R, n_R) of the mean joint orientation:

$$l_R = \frac{\Sigma l_i}{|\overline{R}|} \qquad m_R = \frac{\Sigma m_i}{|\overline{R}|} \qquad n_R = \frac{\Sigma n_i}{|\overline{R}|} \tag{5.2}$$

where

$$|\overline{R}| = [(\Sigma l_i)^2 + (\Sigma m_i)^2 + (\Sigma n_i)^2]^{1/2}$$

The angle of rise δ_R and the direction of rise β_R of the normal to the mean orientation are obtained with Equations 5.1 together with rules for the correct sign of the arc cosine:

$$\delta_R = \sin^{-1}(n_R) \qquad 0 \le \delta_R \le 90^\circ$$
$$\beta_R = +\cos^{-1}\left(\frac{l_R}{\cos\delta_R}\right) \qquad \text{if } m_R \ge 0$$

Constante de Fisher

- El grado de dispersión de un set con N discontinuidades se puede cuantificar a través de la constante de Fisher (1953) K_F dada por:

$$K_F = \frac{N}{N - |R|}$$

- La constante de Fisher se puede calcular tanto para el caso ponderado como no ponderado.
- Mientras más alto es K_F, más baja es la dispersión

- De acuerdo con la distribución de Fisher, la probabilidad *P* de que una normal (polo) tenga un ángulo menor o igual a ψ (en grados) con el vector promedio está dada por:

$$\cos\psi = 1 + \frac{1}{K_F}\ln(1-P)$$

- Fisher mostró también que la desviación estándar de la distribución está dada por:

$$\overline{\psi} = \frac{1}{\sqrt{K_F}}$$