

ANEXO 2: Densidad del agua

A lo largo del programa experimental se realizaron numerosos ensayos con muestras con valores de densidad seca entre 1.0 Mg/m^3 y 1.9 Mg/m^3 . En el caso de los ensayos realizados en condiciones saturadas y una vez finalizado el ensayo se midieron las dimensiones de la muestra, se midió el contenido de agua y se calculó la densidad seca (γ_d) de la muestra. Conociendo la densidad sólida de la bentonita $\gamma_s = 2.67 \text{ Mg/m}^3$, FEBEX (1/2000), se calcularon el índice de vacíos de la muestra y el contenido de agua teórico utilizando las relaciones:

$$e = \frac{\gamma_s}{\gamma_d} - 1 \quad (\text{A.1})$$

y

$$w_{sat} = \frac{e \cdot \gamma_d}{\gamma_s} \quad (\text{A.2})$$

evaluadas considerando $\gamma_w = 1 \text{ Mg/m}^3$. Los valores experimentales obtenidos se presentan en la Figura A.1 en función de la densidad seca de la muestra. De igual forma se representan las curvas dadas por la relación (A.2) considerando distintos valores para la densidad del agua. Los resultados experimentales muestran un valor de contenido de agua mayor al 100% de saturación calculado a partir de la expresión (A.2). Este aumento en el contenido de agua de saturación se hace más notable para muestras con valores de densidad seca mayores de 1.5 Mg/m^3 . Un fenómeno similar fue reportado por Villar (2000) en muestras de bentonita FEBEX saturadas con agua destilada. Villar presenta un análisis de la influencia de los diferentes errores en la medida del contenido de agua y concluye que si bien por errores experimentales se pueden obtener grados de saturación mayores al 100% teórico, la magnitud de estos no es capaz de explicar las discrepancias observadas.

Varios autores; Sposito & Prot (1982), Mitchell (1993), Push et al. (1990), Multon et al. (1981), señalan que las propiedades del agua incorporada entre láminas de arcilla difieren de las del agua libre. En varios de estos trabajos se han reportado valores de

densidad del agua incorporada entre láminas de arcilla mayores que 1.0 Mg/m^3 . En la literatura se recogen valores para la densidad del agua que varían entre 1.05 y 1.48 Mg/m^3 dependiendo del tipo de material y de la densidad seca de la muestra o contenido de agua en saturación. Siguiendo estos análisis se calculó la densidad de agua correspondiente a un grado de saturación del 100% en función de la densidad seca de la muestra. En la Figura A.2 se muestran los valores de la densidad del agua en función de la densidad seca en muestras saturadas con agua de Pearson. También se presentan los valores reportados por Villar (2000) obtenidos para distintas muestras de bentonita FEBEX saturadas con agua destilada y los valores reportados por Martin (1962) para montmorillonita. Los valores experimentales obtenidos a lo largo del programa de ensayos se presentan en la Tabla A.1.

Esto justifica la evidencia experimental de obtener grados de saturación $S_r > 1$ calculados a partir de una densidad de agua $\gamma_w = 1 \text{ Mg/m}^3$. De acuerdo a los datos existentes en la bibliografía esto puede no es correcto en materiales arcillosos y en muestras con densidades mayores de 1.6 Mg/m^3 . En la presente investigación se calcularon los grados de saturación corregidos a partir de la relación

$$S_r = \frac{w}{w_{sat}} \quad (\text{A.3})$$

siendo w_{sat} el contenido obtenido al final del ensayo o bien el contenido de agua correspondiente al valor de densidad seca de la muestra obtenido en el gráfico de la Figura A.1. Si bien la mayor parte de los ensayos realizados en la presente investigación se realizaron en muestras con valores de densidad seca menores a 1.6 Mg/m^3 . Es importante tener en cuenta este tipo de consideraciones para establecer si una muestra ha alcanzado la saturación y determinar también su capacidad de almacenamiento.

Tabla A.1- Valores experimentales de densidad seca y contenido de agua y densidad del agua calculada para muestras saturadas con agua de Pearson.

| ρ_d [Mg/m ³] | ρ_w [Mg/m ³] | Contenido de agua |
|-------------------------------|-------------------------------|-------------------|
| 1.14 | 1.10 | 0.559 |
| 1.38 | 1.15 | 0.406 |
| 1.44 | 1.21 | 0.392 |
| 1.47 | 1.15 | 0.357 |
| 1.51 | 1.20 | 0.348 |
| 1.26 | 0.97 | 0.408 |
| 1.35 | 1.11 | 0.408 |
| 1.36 | 1.13 | 0.409 |
| 1.27 | 1.09 | 0.457 |
| 1.09 | 1.09 | 0.594 |
| 1.21 | 0.90 | 0.510 |
| 1.42 | 1.23 | 0.424 |
| 1.41 | 1.20 | 0.403 |
| 1.20 | 1.08 | 0.498 |
| 1.29 | 1.09 | 0.444 |
| 1.36 | 1.13 | 0.409 |
| 1.33 | 1.06 | 0.405 |
| 1.49 | 1.14 | 0.342 |
| 1.56 | 1.28 | 0.344 |
| 1.56 | 1.17 | 0.316 |
| 1.77 | 1.30 | 0.252 |
| 1.84 | 1.39 | 0.239 |
| 1.19 | 0.96 | 0.456 |
| 1.31 | 1.08 | 0.427 |
| 1.41 | 1.13 | 0.382 |
| 1.49 | 1.16 | 0.352 |
| 1.59 | 1.13 | 0.291 |
| 1.75 | 1.27 | 0.257 |
| 1.80 | 1.26 | 0.232 |
| 1.88 | 1.39 | 0.224 |

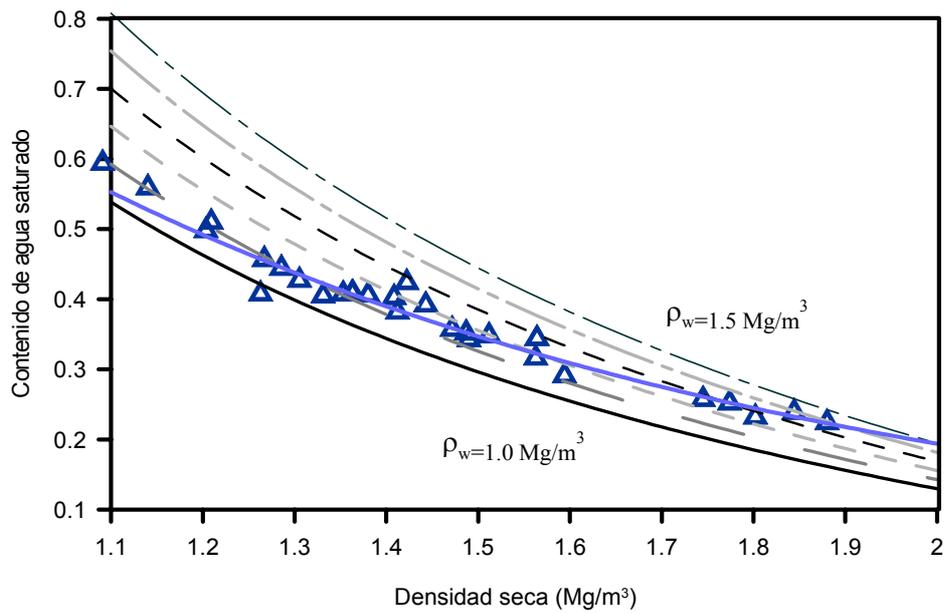


Figura A.1- Valores del contenido de agua obtenido en condiciones saturadas en muestras de pellets saturadas con agua de Pearson.

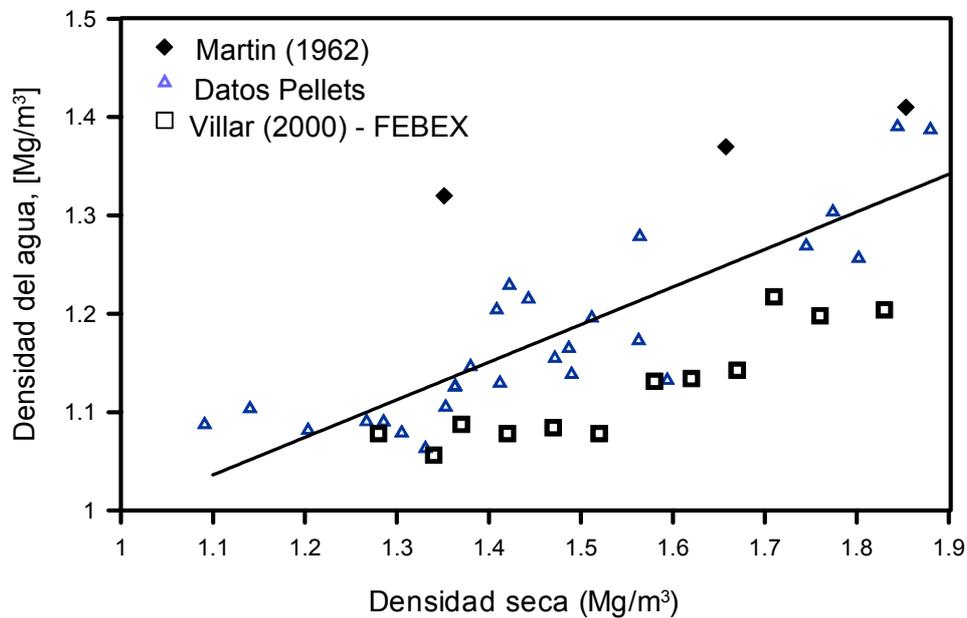


Figura A.2- Valores de la densidad media del agua almacenada en muestras saturadas de pellets de bentonita. Contraste con valores reportados por Villar (2000) y Martin (1968).