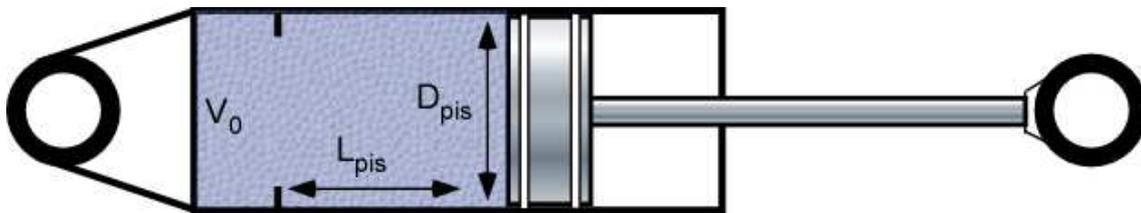


## 5. ESTUDIO TEÓRICO SOBRE LA INFLUENCIA DE LA HIPÓTESIS DE GAS REAL EN UN SISTEMA CERRADO

Una vez caracterizado el fluido de trabajo según lo expuesto en el apartado anterior, se ha creído conveniente desarrollar un estudio sobre las discrepancias que cabe esperar a la hora de considerar que el gas contenido en la suspensión neumática se comporta como un gas real frente a la hipótesis de gas ideal.

De este modo, considérese para tal estudio un sistema cerrado como el que se muestra en la siguiente figura (Fig. 19):



**Fig. 19:** Esquema de la suspensión estudiada ( $V_0$ ,  $D_{pis}$ ,  $L_{pis}$ ,  $p_{carga}$  y  $T_{carga}$  conocidas)

### 5.1 Proceso adiabático

En primera instancia, se pretende cuantificar el error cometido sobre la temperatura que sigue el gas durante una evolución adiabática, en el que se fija la masa del sistema de control y la evolución de la presión (tal como se obtendría experimentalmente con una cadena de medida de la presión y de la posición del pistón, si hipotéticamente el sistema fuese adiabático). Es importante indicar que la relación de calores específicos se ha considerado constante durante el proceso.

A partir de la ecuación de estado para un gas ideal y un gas real se tiene respectivamente:

$$pv = RT_i$$

$$pv = ZRT_r$$

Restando ambas ecuaciones,

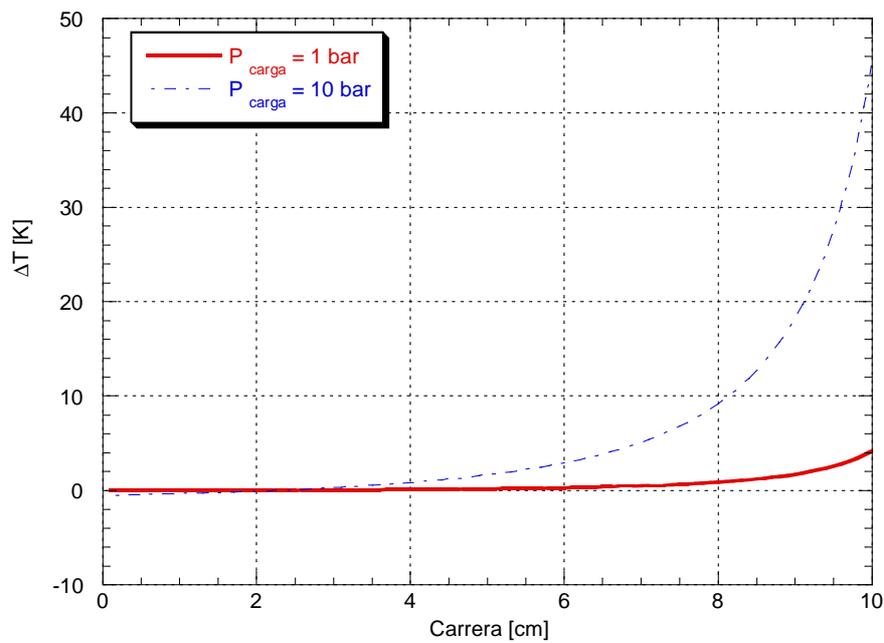
$$\Delta T = T_i - T_r = T_r (Z - 1) \quad (5.1)$$

Es evidente que el factor de compresibilidad  $Z$  será quien marque la discrepancia entre ambas hipótesis.

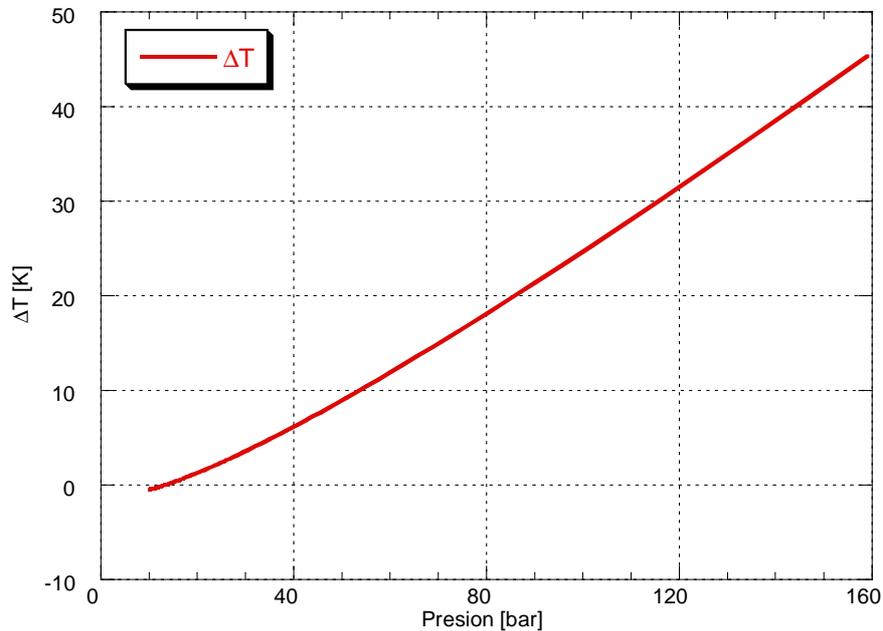
A continuación se muestra esta discrepancia para dos presiones de carga diferentes (véase Fig. 20). En la Fig. 21 se muestra la evolución  $\Delta T$  en función de la presión a modo de detalle para una presión de carga de 10 bar.

**Tabla 5:** Datos según la Fig. 19 para las gráficas de la Fig. 20 a la Fig. 26

Volumen muerto ( $V_0$ )	75 [cm <sup>3</sup> ]
Carrera total ( $L_{\text{pis}}$ )	10 [cm]
Diámetro pistón ( $D_{\text{pis}}$ )	2000 [kg]
Temperatura de carga ( $T_{\text{carga}}$ )	300 [K]



**Fig. 20:** Evolución de la discrepancia de temperaturas entre un gas real y un gas ideal para una compresión adiabática con  $N_2$  a presiones de carga diferentes. Compresión realizada hasta que  $L_{\text{pis}} = 0 \text{ cm}$ .

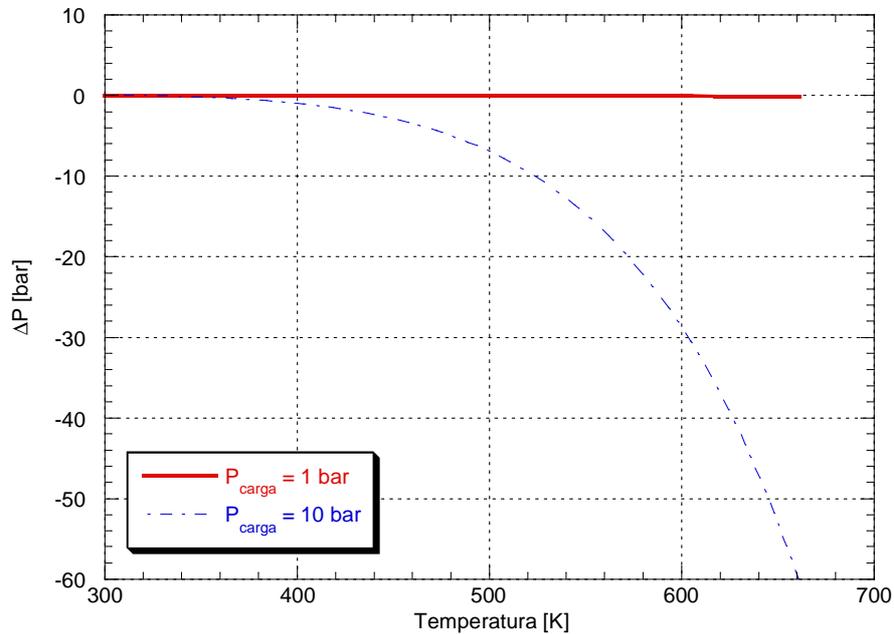


**Fig. 21:** Evolución de la discrepancia de temperaturas entre un gas real y un gas ideal para una compresión adiabática con  $N_2$ . Notas:  $p_{\text{carga}} = 10$  bar. Compresión realizada hasta que  $L_{\text{pis}} = 0$  cm.

Puede deducirse de las gráficas anteriores que la discrepancia entre temperaturas se ve incrementada con la presión.

Seguidamente, para estudiar el efecto sobre la discrepancia entre presiones ideales y reales, se mantendrán iguales la temperatura y el volumen específico para el gas ideal y el gas real, realizando nuevamente una compresión adiabática a  $\gamma = \text{CTE}$ .

Como en el caso anterior, se mostrarán dos ejemplos a condiciones de carga diferentes (ver Fig. 22).



**Fig. 22:** Evolución de la discrepancia de presiones entre un gas real y un gas ideal para una compresión adiabática con  $N_2$ . Compresión realizada hasta que  $L_{pis} = 0$  cm.

Nuevamente puede deducirse de las gráficas anteriores que los efectos se ven aumentados con la presión.

## 5.2 Efecto del factor de compresibilidad

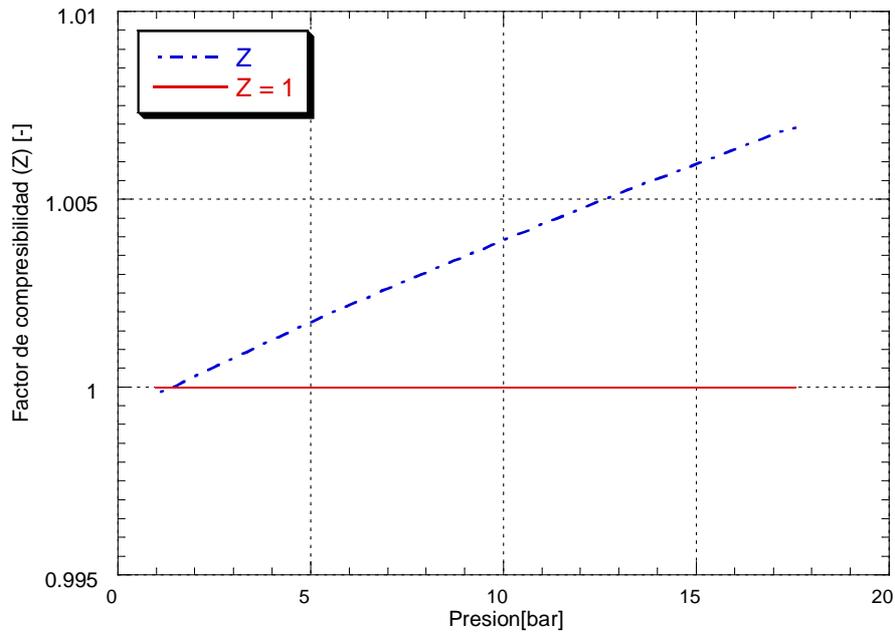
Vista la influencia del factor de compresibilidad en las discrepancias de las variables de estado, se hace necesario un estudio de su evolución a lo largo del mismo proceso.

De esta forma, se realizará un análisis de la evolución que sigue el factor de compresibilidad  $Z$ , durante una compresión adiabática comprendida entre el rango de trabajo de la suspensión neumática (compresión/expansión), es decir entre 1 y 200 bar, 200 y 500 K.

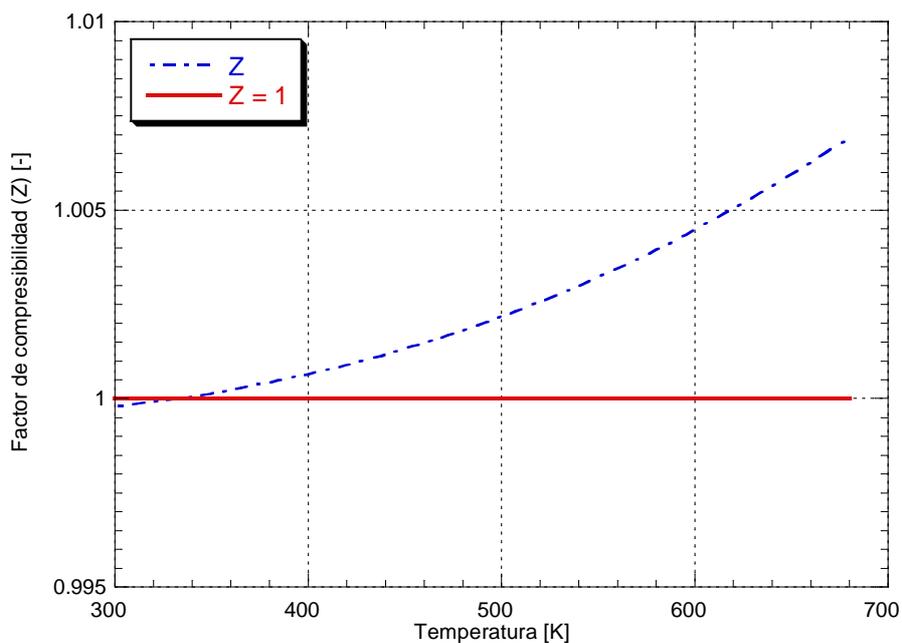
A continuación se muestran las evoluciones de  $Z$  en función de la presión y la temperatura para 3 casos con condiciones de carga diferentes. Las condiciones estudiadas son a las que se someterá la unidad experimental construida para este trabajo y que han sido explicadas anteriormente (ver apartado 4.4). Concretamente se analizará

el rango de presiones de 1 a 200 bar y un abanico de temperaturas comprendido entre los 200 y 500 K.

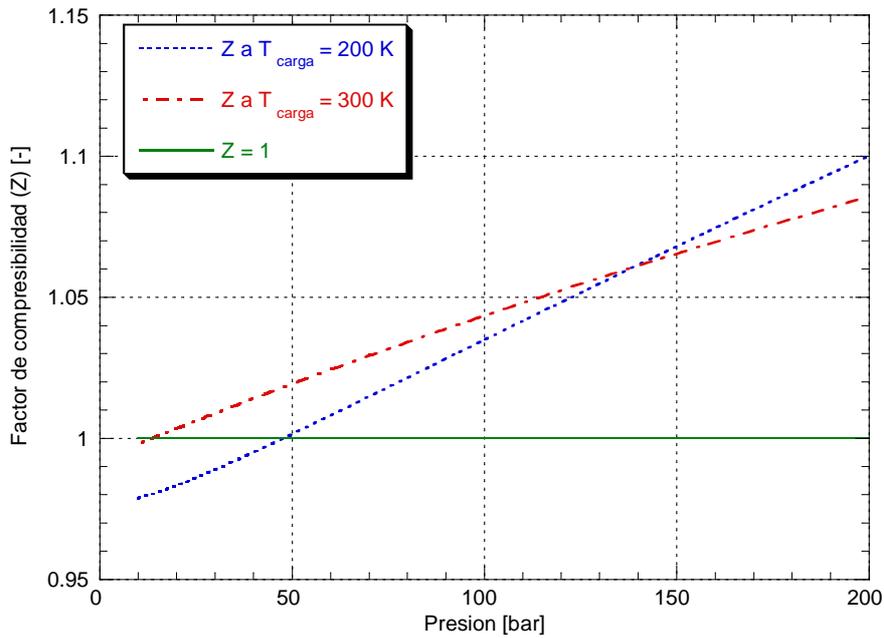
En las gráficas que se muestran a continuación (Fig. 23 a Fig. 26) aparece una línea a modo de frontera para el valor de  $Z = 1$ . Este límite indicará a partir de que valor toma importancia la hipótesis de gas real.



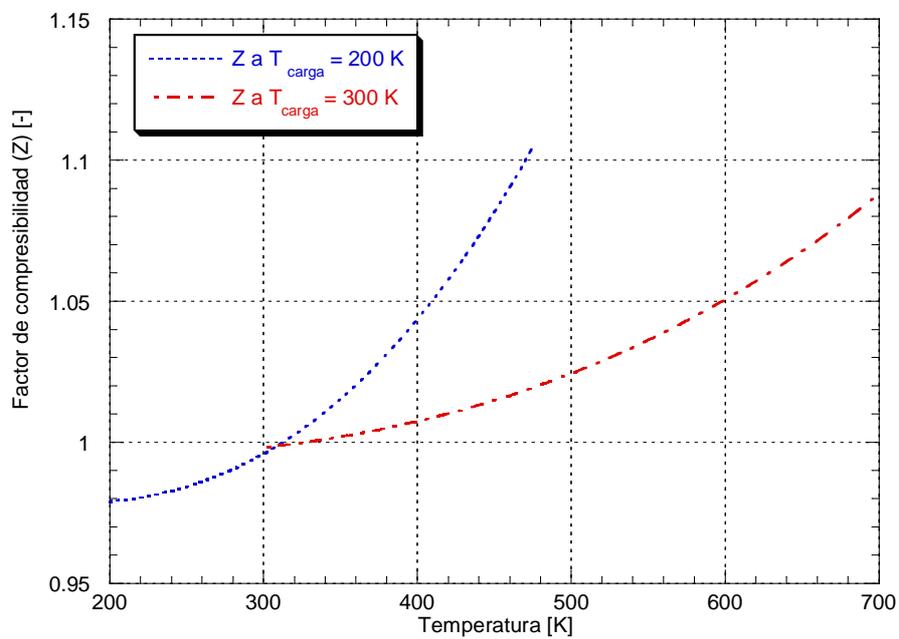
**Fig. 23:** Evolución del factor de compresibilidad  $Z$  frente a la presión para una compresión adiabática con  $N_2$ . Nota:  $p_{\text{carga}} = 1$  bar. Compresión realizada hasta que  $L_{\text{pis}} = 0$  cm.



**Fig. 24:** Evolución del factor de compresibilidad  $Z$  frente a la temperatura para una compresión adiabática con  $N_2$ . Nota:  $p_{\text{carga}} = 1$  bar. Compresión realizada hasta que  $L_{\text{pis}} = 0$  cm.



**Fig. 25:** Evolución del factor de compresibilidad  $Z$  frente a la presión para una compresión adiabática con  $\text{N}_2$ . Nota:  $p_{\text{carga}} = 10 \text{ bar}$ . Compresión realizada hasta que  $L_{\text{pis}} = 0 \text{ cm}$ .



**Fig. 26:** Evolución del factor de compresibilidad  $Z$  frente a la temperatura para una compresión adiabática con  $\text{N}_2$ . Nota:  $p_{\text{carga}} = 10 \text{ bar}$ . Compresión realizada hasta que  $L_{\text{pis}} = 0 \text{ cm}$ .

Observando los gráficos anteriores, uno puede deducir que a bajas presiones (entiéndase 20 bar, véase Fig. 23), el factor de compresibilidad no se alejará sustancialmente del valor 1 (gas ideal). Es importante indicar que según lo expuesto en las anteriores gráficas (Fig. 23 a Fig. 26), únicamente en el caso de empezar la compresión a 200 K el valor de  $Z$  empieza a aumentar a partir de los 50 bar, lo que indica que el rango de temperatura tiene mucho a decir en la idealidad del gas. Parece ser que a partir de los 300 K, el aumento de la presión afecta de forma significativa sobre el factor de compresibilidad.

Recordando que la temperatura de un gas ideal es igual a la temperatura de un gas real multiplicada por el factor de compresibilidad  $Z$ , véase ecuación (5.1), y sabiendo que a las condiciones de trabajo de la suspensión objeto de estudio,  $Z$  es mayor que la unidad. Se puede afirmar que al considerar el comportamiento del fluido de trabajo como un gas ideal se está considerando una temperatura hasta un 5% superior a la real, es evidente que siempre será a las condiciones explicadas anteriormente.