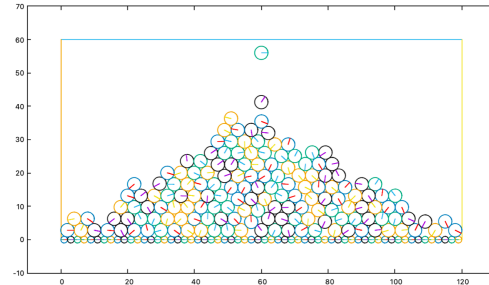


MÉTODOS DE SIMULACIÓN – FÍSICA Taller 1, Ejercicio 5

PILA DE ARENA

Una pila de arena se puede construir arrojando granos uno a uno sobre una superficie, hasta formar un cono. En teoría, el ángulo θ que forma la superficie del cono con la horizontal – que se conoce con el nombre de *ángulo de reposo* – debe ser tal que su tangente sea igual al coeficiente de fricción estático μ ,

$$\mu = \tan \theta . \quad (1)$$



Para comprobarlo,

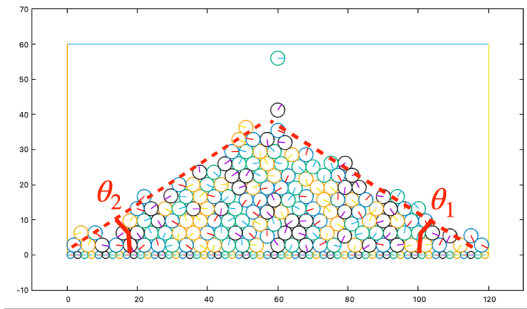
- a) Construya un programa basado en el código `Granos2D_2024-I.cpp` que genere una pila de arena, soltando grano por grano desde cierta altura. Para ello, utilice un espacio de simulación de, por ejemplo, $L_x=160$ y $L_y=60$ y represente el suelo como un conjunto de $N_s=80$ esferas de radio $R_s=L_x/(2*N_s)=1$ que no se mueven ni interactúan entre sí ni con las otras tres paredes, como muestra la figura (si lo ve conveniente, puede ampliar L_x y/o N aún más). Haga que todos los $N = 200$ granos inicien con una posición $x_0=L_x/2$, $y_0=L_y-2R_0$, con $R_0=2$, velocidad $V_x=V_y=0$, ángulo $\theta_0=0$ y una velocidad angular ω que se escoge aleatoriamente en el intervalo $\omega \in [-\theta_{\text{Max}}, \theta_{\text{Max}}]$, pero vaya soltándolos uno por uno, dejando evolucionar el sistema un tiempo $t_{\text{max}} = 5\sqrt{L_y/g}$ antes de soltar el siguiente. Una forma de lograrlo es iniciar todos los granos antes de comenzar la simulación y definir una variable entera $N_{\text{live}} = 0, 1, 2, \dots$ que indica cuántos granos están vivos. Para la simulación puede tomar como valores de referencia los siguientes:

```
//----- declarar constantes ---  
const double K=1.0e4;  
const double Lx=160, Ly=60;  
const int N=200, Ns=80, Ntot=N+Ns+3;  
const double g=9.8, Gamma=150, Kcundall=500, mu=0.4;
```

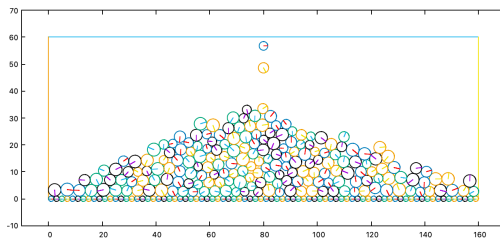
y como variables iniciales en el `main()` las siguientes:

```
int main(void){  
    Cuerpo Molecula[Ntot];  
    Crandom Ran64(1);  
    Colisionador Hertz;  
    Crandom ran64(1);  
    double m0=1, R0=2, kT=10, V0=sqrt(2*kT/m0);  
    int i,Nlive;  
    double cuadros=5,t,tdibujo,dt=1e-3  
        |,tmax=cuadros*sqrt(Ly/g),tcuadro=tmax/(10*cuadros);  
    double Omega0,OmegaMax=8.0;  
    double Rpared=100*Lx, Mpared=100*m0;  
    double Rs=Lx/(2*Ns);
```

- b) Una vez se complete la pila, ajuste dos líneas a sus perfiles, como muestra la figura, y mida su ángulo de inclinación, que corresponde al ángulo de reposo θ , y compruebe si se cumple la relación Ec. (1). Si lo desea, tome $\theta = (\theta_1 + \theta_2)/2$, con θ_1 y θ_2 los ángulos medidos a derecha e izquierda, como se muestra en la figura.



- c) Ahora repita todo el proceso anterior, pero haciendo que cada grano que se suelta tenga un radio escogido al azar entre 1.6 y 2.4 ($R_0 \in [1.6, 2.4]$). Observe si en este caso el ángulo $\theta = (\theta_1 + \theta_2)/2$ se acerca más o no al valor predicho por la Ec. (1).



Para la entrega

El envío (.pdf de la presentación y programas .cpp o Python) debe contener:

- El programa que implementa la simulación del punto a).
- El programa que implementa la simulación del punto c)
- Las gráficas de las dos pilas de arena, con los ajustes respectivos, y el cálculo de error porcentual respecto del dato teórico.

Referencias

[1] Angle of repose for two-dimensional particle aggregates from particle-size and -shape Salah A. M. El Shourbagy & Hans-Georg Matuttis, University of Electro-Communications, Department of Mechanical Engineering and Intelligent Systems, Tokyo, Japan