

Choque Elástico de Partículas en la Superficie Rígido

Yhon Fuentes Huaman¹

yfuentesh@unsa.edu.pe
<https://orcid.org/0000-0003-4228-1982>
Universidad Nacional San Agustín De
Arequipa
Arequipa, Perú,

Anjhela Rosa Callo Mamani

acallom@utea.edu.pe
<https://orcid.org/0000-0002-9701-0103>
Universidad Tecnológica De Los Andes,
2023,
Apurímac, Perú,

Vanesa Salas Peña

vsalasp@utea.edu.pe
<https://orcid.org/0000-0003-3734-6278>
Universidad Tecnológica De Los Andes
Apurímac, Perú,

And Ely Janeth Pumapillo Cruz

ely.jpc84@gmail.com
Universidad Nacional Micaela Bastidas
De Apurímac
Apurímac, Perú,

RESUMEN

En este artículo como primer punto se muestra la caída de un objeto desde una altura determinada aplicando la segunda ley de Newton $F = ma$, se analizó que el objeto en caída, se aplicó muchas fuerzas externas y se estudió los fenómenos ocurridos. como segundo punto se analizó la colisión de dos objetos el comportamiento de estos antes y después de la colisión. Y en tercer punto simulamos la deformación del objeto elástico sólido en la base de la caída libre. Se considero datos iniciales de altura $H = 4m$ y masa $m = 50kg$, un coeficiente de resistencia de $C = 20kg/seg.$, y tamaño de paso $h = 0.1$. Se aplico la caída libre de un objeto, con los datos mencionados y se obtuvo que el primer objeto dio 21 rebotes chocando al objeto 2, en la base y en cada rebote el objeto de la base sufrió deformaciones, el cual se simulo con la ley de hooke y el teorema de Runge Kutta, además en el primer objeto en caída libre se aplicó la 3era ley de Newton (Acción y Reacción) para encontrar hasta cuanto el objeto 1 se elevaba en cada rebote. Se simulo este fenómeno físico en OpenGL C++, creando un archivo CMake para la utilización en diferentes Sistemas operativos.

Palabras Clave. Choque elástico de partículas, superficies rigidez, aplicación de OpenGL, Caída libre de objetos rígidos, Método de Runge Kutta en OpenGL, OpenGL y C++ Aplicaciones, Cuerpos Elásticos, Choque y colisión en Op

¹ Autor Principal

Elastic Particle Shock on the Rigid Surface

ABSTRACT

In this article as the first point shows the fall of an object from a certain height applying Newton's second law $F = ma$, It is analyzed that the falling object applies many external forces that phenomenon was analyzed. As a second point, the collision of two objects was analyzed, the behavior of these before and after the collision. And in third point we simulate the deformation of the solid elastic object at the base of the free fall. Initial height data was considered $H = 4\text{m}$ and dough $m = 50\text{kg}$, a resistance coefficient of $C = 20\text{kg/seg.}$, and step size $h = 0.1$. The free fall of an object was applied, with the aforementioned data and it was obtained that the first object gave 21 bounces colliding with object 2, at the base and on each bounce the object of the base suffered deformations, which was simulated with Hooke's law and Runge Kutta's theorem, Inglés also in the first object in free fall was applied Newton's 3rd law (Action and Reaction) to find how much object 1 rose in each bounce. This physical phenomenon was simulated in OpenGL C++, creating a CMake file for use in different operating systems.

Keywords: *Elastic collision of particles, rigid surfaces, OpenGL application, Free fall of rigid objects, Runge Kutta method in OpenGL, OpenGL and C++ Applications, Elastic Bodies, Shock and collision in OpenGL and C++*

Artículo recibido 25 marzo 2023

Aceptado para publicación: 25 de abril 2023

INTRODUCCIÓN Y MOTIVACIÓN

La simulación de la mecánica de sistemas multicuerpo es de gran interés en múltiples aplicaciones en ingeniería, física, química, biología y otras áreas. En este artículo mostraremos el comportamiento de un objeto rígido debido a fuerzas externas como la colisión de otro objeto a ellos, también se analizará la velocidad que obtendrán los objetos debido al choque de estas. Como ejemplos prácticos, se puede mencionar la interacción entre objetos, y las simulaciones se pueden usar para predecir el comportamiento mecánico del balasto bajo carga cíclica o bajo carga cortante

(1) 4. HERRAMIENTAS Y LIBRERIAS Para la implementación de este artículo usamos las siguientes: A. Herramientas OpenGL C++. Visual Studio 2022 MATLAB (Pruebas). B. Librerías Librerías GLM, GLFW, GLEW CMake para configuración en diferentes plataformas 5.

MODELO MATEMÁTICO DE LA CAIDA DEL OBJETO Para la simulación de la caída de los objetos se aplicó la ecuación de la segunda ley de Newton $F = ma$, a esta ecuación la descompusimos como:

$$\frac{\partial v}{\partial t} = \frac{F}{m}; \quad (1)$$

Donde: F: Fuerza global aplicada a los objetos m: masa de los objetos Figure1 Objeto en Caída Libre

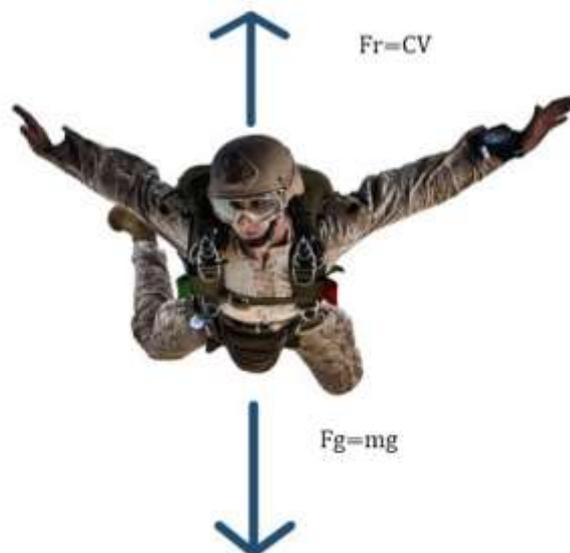


Fig. 1. Soldado en 3D

También definiremos las fuerzas en los objetos analizados están definidos de por la siguiente ecuación

$$F = mg - cv \quad (2)$$

Donde:

c: se llamararemos coeficiente de resistencia del aire v: la velocidad con la que caen los objetos
Reemplazando los valores de las ecuaciones anterior a la primera ecuación obtendremos la siguiente ecuación que nos ayudara a encontrar la velocidad de objetos en cada instante de tiempo.

$$v(t) = \frac{mg}{c} (1 - e^{-\frac{ct}{m}}) \quad (3)$$

6. MODELO MATEMÁTICO PARA LA COLISION DE OBJETOS 3D

El análisis de las partículas u objetos 3D después del choque, tenemos que entender que fenómenos físicos ocurren para ellos primero analizaremos el tipo de choque que estamos estudiando, los objetos que estudiamos son objetos rígidos quiere decir que pueden tener ruptura si la fuerza aplicada a esta es grande, por otro lado analicemos el piso un objeto rígido que sufrirá deformaciones de acuerdo a la cantidad de peso que se le aplicara , entonces para entender estos fenómenos y el comportamiento de los objetos recordaremos la teoría de la cantidad de **DE LA CANTIDAD DE MOVIMIENTO LINEAL Y CHOQUES**

Para el cálculo de la colisión de un objeto lo primero que necesitamos es saber las condiciones iniciales del objeto. Para este experimento asumimos que tenemos un objeto suspendido en el aire con una velocidad inicial igual a 0, los objetos analizamos son objetos en 3D, entonces las velocidades $V_x = 0$, $V_y = 0$ y $V_z = 0$, también otra de las condiciones iniciales que tomaremos en cuenta son los tiempos $t_i = 0$ tamaños de paso $h_i = 0$ y las fuerzas antes del choque con el piso $F_i = mg - cv$, en este caso analizaremos los 3 casos de la conservación de la cantidad de movimiento Aplicaremos la 3era Ley de Newton.

$$F_i (\text{Antes del choque}) = -F_i (\text{Después del choque}) \quad (4)$$

$$\sum F_i = 0 \quad (5)$$

$$F_i = \frac{\partial P_i}{\partial t_i} \quad (6)$$

$$\sum P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + \dots \quad (7)$$

Esto quiere decir antes del choque y después sumados tienen que darnos igual a cero, quiere la cantidad de movimiento se conserva

$$P_f - P_i = 0 \quad (8)$$

B. Tipos de Choques

Choque Inelástico

- 1) se conserva la cantidad de movimiento inicial $P_0 = P_f$
- 2) No se conserva la energía cinética K , $K_0 \neq K_f$
- 3) por lo tanto se SEPARAN

Choque Elástico

- 1) se conserva la cantidad de movimiento inicial $P_0 = P_f$
- 2) No se conserva la energía cinética K , $K_0 = K_f$
- 3) por lo tanto se SEPARAN Entonces podemos encontrar la siguiente ecuación para los casos:

CASO I: Choque Inelástico - cantidad de movimiento

$$\sum m_i V_i (\text{Antes del choque}) = \sum m_i V_i (\text{Después del choque}) \quad (9)$$

$$m_1 V_{1i} + m_2 V_{2i} = m_1 V_{1f} + m_2 V_{2f} \quad (10)$$

CASO II: Choque Completamente Inelástico - cantidad de movimiento

$$m_1 V_{1i} + m_2 V_{2i} = (m_1 + m_2) V_{2f} \quad (11)$$

CASO III: Choque Inelástico y Completamente Inelástico - no se conserva la energía por lo tanto:

$$\frac{1}{2} m V_{1i}^2 + \frac{1}{2} m V_{2i}^2 \neq \frac{1}{2} m V_{1f}^2 + \frac{1}{2} m V_{2f}^2 \quad (12)$$

CASO IV: Choque Elástico - no se conserva la energía por lo tanto:

En Cuanto a la cantidad de movimiento P

$$m_1 V_{1i} + m_2 V_{2i} = m_1 V_{1f} + m_2 V_{2f} \quad (13)$$

En Cuanto a la conservación de energía K

$$\frac{1}{2}mV_{1i}^2 + \frac{1}{2}mV_{2i}^2 = \frac{1}{2}mV_{1f}^2 + \frac{1}{2}mV_{2f}^2 \quad (14)$$

Del sistema de ecuaciones anteriores, se tendrá un sistema matricial de la siguiente forma:

$$\begin{pmatrix} m_1 & m_2 \\ 1 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_{1f} \\ V_{2f} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} m_1 V_{1i} + m_2 V_{2i} \\ -V_{1f} + V_{2f} \end{pmatrix}$$

Entonces aplicando la regla de Cramer se tiene la V_{1f} y V_{2f} , con la siguientes ecuaciones.

$$V_{1f} = \left(\frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2}\right)V_{1i} + \left(\frac{2m_2}{m_1 + m_2}\right)V_{2i} \quad (15)$$

$$V_{2f} = \left(\frac{2m_1}{m_1 + m_2}\right)V_{1i} + \left(\frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2}\right)V_{2i} \quad (16)$$

Estas dos (15) y (16) son las ecuaciones que utilizaremos para la aplicación de nuestro problema.

7. ECUACIÓN DE MOVIMIENTO: FUERZA EXTERNA A.

Sistemas inelásticos se dice que un sistema así es inelástico. Esto implica que la relación fuerza-deformación depende de la dirección, es decir, depende de si la deformación está aumentando o disminuyendo. De este modo, la fuerza restauradora es una función implícita de la deformación:

$$f_S = f_S(u) \quad (17)$$

B. FUERZA DE AMORTIGUAMIENTO la fuerza de amortiguamiento de f_D se relaciona con la velocidad \dot{u} a través del amortiguador viscoso lineal por

$$f_D = c\dot{u} \quad (18)$$

donde la constante c es el coeficiente de amortiguamiento viscoso; tiene unidades de fuerza \times tiempo/longitud.

C. Uso de la Segunda ley del movimiento de Newton

En la figura 1 (b) se muestran las fuerzas que actúan sobre la masa en un cierto instante de tiempo. Éstas incluyen la fuerza externa $p(t)$, la fuerza restauradora elástica (o inelástica) f_S y la fuerza de amortiguamiento f_D . Se considera que la fuerza externa es positiva en la dirección del eje x , y que el desplazamiento $u(t)$, la velocidad $\dot{u}(t)$ y la aceleración $\ddot{u}(t)$ también son positivas en la dirección del eje x . Las fuerzas elásticas y de amortiguamiento se muestran actuando en la

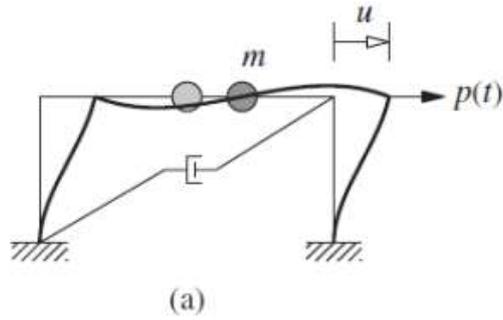


Fig. 2. Marco idealizado de un nivel aplicado una fuerza $P(t)$

dirección opuesta, dado que son las fuerzas internas que se oponen a la deformación y a la velocidad respectivamente.

La fuerza resultante a lo largo del eje x es $p - f_S - f_D$, y a partir de la Segunda ley del movimiento de Newton se tiene

$$p - f_S - f_D = m\ddot{u} \quad (19)$$

o

$$m\ddot{u} + f_D + f_S = p(t) \quad (20)$$

Donde la Ecuación quedara de la siguiente forma:

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = p(t) \quad (21)$$

Ésta es la ecuación de movimiento que controla la deformación o el desplazamiento $u(t)$ de un objeto rígido que se supone elástica lineal, sometida a una fuerza externa dinámica $p(t)$. Las unidades de masa son fuerza/aceleración. Esta deducción puede extenderse con facilidad a sistemas

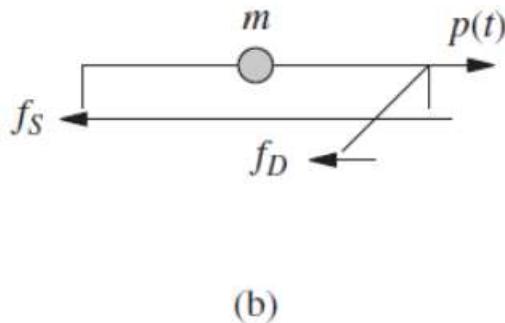


Fig. 3. Marco idealizado de un nivel aplicado una fuerza F_D

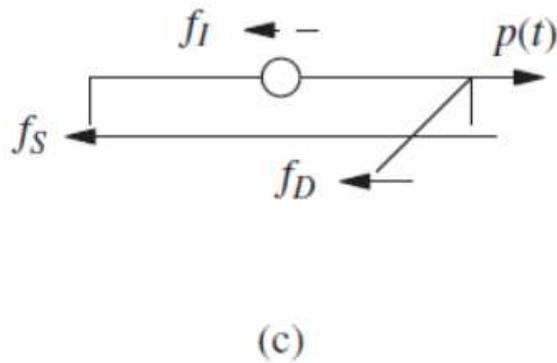


Fig. 4. Marco idealizado de un nivel aplicado la fuerza F_I

inelásticos. Por lo tanto, para tales sistemas, la ecuación de movimiento es

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + f_S u = p(t) \quad (22)$$

8. VIBRACIÓN LIBRE CON AMORTIGUAMIENTO DE COULOMB

El amortiguamiento de Coulomb resulta de la fricción por deslizamiento de dos superficies secas. La fuerza de fricción es $F = N$, donde indica los coeficientes de fricción estática y cinética, tomados como iguales, y N es la fuerza normal entre las superficies deslizantes. Se supone que la fuerza de fricción es independiente de la velocidad una vez que inicia el movimiento. La dirección de la fuerza de fricción se opone al movimiento, y el signo de la fuerza de fricción cambiará cuando se modifica que la dirección del movimiento. Esto requiere la formulación y la solución de dos ecuaciones diferenciales, una válida para el movimiento en una dirección y la otra válida cuando el movimiento se invierte. En la siguiente figura se muestra un sistema masa-resorte, con la masa que se desliza sobre una superficie seca, y los diagramas de cuerpo libre de la masa, incluyendo la fuerza de inercia, para las dos direcciones

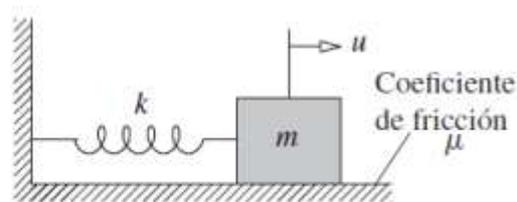


Fig. 5. Ley de Hooke $F = kX$

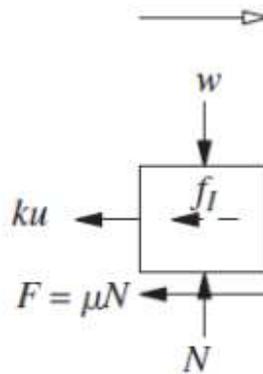


Fig. 6. Dirección del movimiento

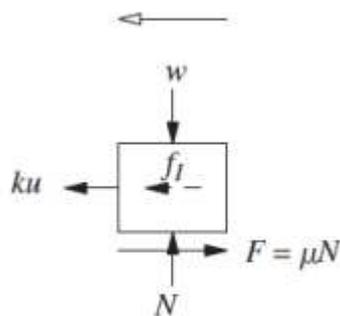


Fig. 7. Dirección del movimiento

de movimiento. La ecuación que rige el movimiento de la masa de derecha a izquierda es

$$m\ddot{u} + k\dot{u} = F \quad (23)$$

9. SRINGS Y DAMPERS

Una vez analizado estas ecuaciones del amortiguamiento según el tipo de cuerpo y choque moldearemos la ecuación de amortiguamiento: $F_s = k_s(L - r)$ y $F_d = k_d (V_1 - V_2)$, estas dos fuerzas se aplicaran en los objetos analizados que se convertirán en una sola fuerza global definida por:

$$F = \frac{-[k_s(L - r) + \frac{K_d((V_1 - V_2) \cdot L)}{l}]}{\frac{L}{T}} \quad (24)$$

10. MÉTODOS DE RUNGE-KUTTA (RK)

Los métodos de Runge-Kutta (RK) logran la exactitud del procedimiento de la serie de Taylor sin necesitar el cálculo de derivadas de orden superior

$$f(z)_{i+1} = f(z)_i + g(x_i, y_i)h \quad (25)$$

Donde: $g = a_1k_1 + a_2k_2 + \dots + a_nk_n$ y a_i son constantes y las k_i son:

$$k_1 = (x_i, y_i)$$

$$k_2 = (x_i + P_1 * h, y_i + q_{11}k_1 * h)$$

$$k_3 = (x_i + P_2 * h, y_i + q_{22}k_2 * h) \dots$$

$$k_n = (x_i + P_n * h, y_i + q_{(n-1,1)}k_1 * h + q_{(n-1,2)} * k_2 * h + \dots + q_{(n-1,n-1)} * k_{(n-1)} * h) \quad (26)$$

11. RESULTADOS DE LA APLICACIÓN

A. Entrada de datos

Para la simulación de la caída del objetos y el amortiguamiento de debido a las fuerza existentes en el sistema se tomo 2 objetos de diferentes masas ubicadas a una cierta altura cada uno de los objetos, luego en la base de la altura se colocó un tercer objeto con masa y cuerpo rígido, se dio los valores inicial como de indico en la sección 5 - A. de la conservación de la cantidad de movimiento lineal.

Table 1 Condiciones Iniciales

Table 1. Datos de los objetos - Caída Libre

Objeto	$H_i(Alt)$	$h_i(Paso)$	$V_{ix} = 0, V_{iy} = 0, V_{iz} = 0$
	t_i		
FinalBaseMesh	4 0.0f	0.1	$V_{1x} = 0, V_{1y} = 0, V_{1z} = 0$
warriorobj	4 0.0f	0.05	$V_{2x} = 0, V_{2y} = 0, V_{2z} = 0$
Soil Concret	0 0.0f	0.09	$V_{3x} = 0, V_{3y} = 0, V_{3z} = 0$

Table 2 Características de los objetos

B. Lectura de Objetos OpenGL

Figure 8 Abrimos el primer objeto 3D en OpenGL

Figure9 Abrimos el segundo objeto 3D con OpenGL

Figure10 Lecturamos el objeto rígido 3D para el piso con OpenGL

Table 2. Datos de los objetos - Caída Libre

Objeto Error	$m_i(masa)$	<i>gravedad</i>	Coef. Res.	<i>Vel.Choque</i>
FinalBaseMesh 0.001	50	-9.81	20	<i>calculado</i>
warriorobj 0.001	50	-9.81	20	<i>calculado</i>
Soil Concret 0.00	50	-9.81	0	<i>calculado</i>



Fig. 8. Hombre en 3D



Fig. 9. Soldado en 3D



Fig. 10. Soldado en 3D

C. Códigos Aplicados

En esta Sección mostraremos algunos códigos que se implementó para el desarrollo de la simulación de la colisión de los objetos con el piso y la deformación que estas sufren.

Figure 11 Código de Caída de un objeto 3D, aplicando la ecuación caída libre.

Figure12 Código de colisión de objeto con base en 3D, aplicando

```

std::vector<glm::vec3>
CaidaLibre(std::vector<glm::vec3>& velocity,
std::vector<glm::vec3>& objeto, float t, float
h, float Vy)
{
    //Vy:  $V(t)=mg/c(1-e^{-ct/m})$ 
    auto velocitC = glm::vec3{ 0.0, Vy, 0.00 };
    //Objeto en 3D
    for (unsigned i = 0; i < objeto.size(); ++i)
    {
        velocity[i] = velocity[i] + h * velocitC;
        objeto[i] = objeto[i] + velocity[i] * t;
    }
    return objeto;
}

```

Fig. 11. Caída de un objeto con Runge Kutta

la Colisión

D. Simulación en OpenGL Para la implementación de esta simulación utilizamos como I.D. Visual Studio v. 2022, con código OpenGL c++ y además de las librerías mencionadas al inicio de este artículo. Figure13 Simulación de los objetos 1 y 2 en caída libre de acuerdo al peso y la resistencia del aire

Ahora veremos la simulación cuando choca el objeto con la base, esta aplicara la ley de Hooke en la base de solido rígido. Pero para los objetos (1) y (2) en caída asumimos que el objeto es Elástico (sufre deformaciones muy bajas) y el objeto en el suelo si sufre deformación elevadas de acuerdo a sus propiedades física, además en este mismo impacto asumimos que el choque es elástico por tanto la energía cinética antes y después son iguales en tal sentido seguirá dando rebotes el objeto (2) y (3) que son los objetos en caída.

```

colision(std::vector<glm::vec3>& velocity,
std::vector<glm::vec3>& objeto, float t, float
h, float VChoquey, float VChoquex)
{
    auto velocidad= glm::vec3{ VChoquex, VChoquey,
0.00 };
    //pyramid
    for (unsigned i = 0; i < objeto.size(); ++i)
    {
        velocity[i] = velocity[i] + h*velocidad;
        objeto[i] = objeto[i] + velocity[i]*t;
    }
    return objeto;
}

```

Fig. 12. Colision de dos objetos



Fig. 13. Simulación de objetos en caída antes del choque inicial

El rebote de los objetos se realizará hasta alcanzar la altura de elevación igual a cero, asumimos que en cada rebote el objeto pierda su altura máxima en 1.5 del anterior.

Figure14 Simulación de los objeto 1 y 2 después del choque hasta detenerse



Fig. 14. Simulación de los objetos después de varios choques

12. CONCLUSION

- El cálculo de la caída de los objetos con el método Euler, se simuló con los siguientes datos: de una altura $H = 4\text{m}$ y masa $m = 50\text{kg}$, un coeficiente de resistencia de $C = 20\text{kg/seg.}$, y tamaño de paso $h = 0.1$ con estos datos se obtuvo la caída del objeto con rebote 21 del objeto en mención.

- A la caída de los objetos con el objeto en el piso se aplicó la teoría de choque Elástico.

- La caída de objetos con el método Euler, se simula el choque con objeto rígido en el piso y esta sufre deformación con la aplicación de la 3era ley de Newton y la ley de Hooke de deformaciones logrando deformar el objeto debido a la caída de estas.

- Se demostró la simulación de objeto en caída libre y la deformación que sufren estas debido a este experimento utilizando

OpenGL con código C++

REFERENCES

1. NETO, Alfredo Gay. Framework for automatic contact detection in a multibody system. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 2023, vol. 403, p. 115703
2. CORNEJO, Alejandro, et al. A fully Lagrangian formulation for fluidstructure interaction problems with free-surface flows and fracturing solids. *Computers Structures*, 2021, vol. 250, p. 106532.
3. ZHA, Ruosi; PENG, Heather; QIU, Wei. An improved higher-order moving particle semi-implicit method for simulations of two-dimensional hydroelastic slamming. *Physics of Fluids*, 2021, vol. 33, no 3, p. 037104.
4. HE, Ping, et al. Calibration and verification of dynamic particle flow parameters by the back-propagation neural network based on the genetic algorithm: recycled polyurethane powder. *Materials*, 2019, vol. 12, no 20, p. 3350
5. KOLAHDOUZ, Ebrahim M., et al. An immersed Lagrangian-eulerian method for fluid-structure interaction. *arXiv preprint arXiv:2003.12046*, 2020.
6. LI, Yue, et al. Simulation of the flowability of fresh concrete by discrete element method. *Frontiers in Materials*, 2021, vol. 7, p. 603154

7. FRANCI, Alessandro. Lagrangian finite element method with nodal integration for fluid–solid interaction. *Computational Particle Mechanics*, 2021, vol. 8, no 2, p. 389-405.
8. PADRÓN, L. A.; AZNÁREZ, J. J.; MAESO, O. 3-D boundary element–finite element method for the dynamic analysis of piled buildings. *Engineering analysis with boundary elements*, 2011, vol. 35, no 3, p. 465-477.
9. SUN, Ting-Pi, et al. Distribución de tensiones y onda de choque superficial del impacto de una gota. *Comunicaciones de la naturaleza* , 2022, vol. 13, nº 1, pág. 1703.
10. LUO, Sheng-Nian, et al. La relación entre la velocidad de las partículas en estado de choque y la velocidad de la superficie libre: un estudio de dinámica molecular en un solo cristal de Cu y vidrio de sílice. *Revista de Física Aplicada* , 2008, vol. 103, nº 9, pág. 093530.
11. LIBERSKY, Larry D., et al. Hidrodinámica lagrangiana de alta tensión: un código SPH tridimensional para la respuesta dinámica del material. *Revista de física computacional* , 1993, vol. 109, nº 1, pág. 67-75
12. LIBERSKY, Larry D.; PETSCHKEK, Albert G. Hidrodinámica de partículas suaves con resistencia de materiales. En *Avances en el método de Lagrange libre, incluidas las contribuciones sobre cuadrícula adaptativa y el método de hidrodinámica de partículas uniformes: actas de la próxima conferencia de Lagrange libre celebrada en Jackson Lake Lodge, Moran, WY, EE. UU., del 3 al 7 de junio de 1990* . Berlín, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2005. p. 248-257.
13. ARTAMONOV, DV, et al. Modelado matemático de la dinámica de estructuras heterogéneas de un bloque electrónico bajo choque aplicado. En *2018 Simposio Ural sobre Ingeniería Biomédica, Radioelectrónica y Tecnologías de la Información (USBREIT)* . IEEE, 2018. pág. 224- 228.
14. MABSSOUT, M.; HERREROS, M. I. Runge–Kutta vs Taylor-SPH: Two time integration schemes for SPH with application to Soil Dynamics. *Applied Mathematical Modelling*, 2013, vol. 37, no 5, p. 3541-3563.
15. PARESCHI, Lorenzo; RUSSO, Giovanni. Esquemas implícitosexplicitos de Runge-Kutta y aplicaciones a sistemas hiperbólicos con relajación. *Revista de computación científica* , 2005, vol. 25, pág. 129- 155.

16. ALMEIDA, Miguel Leonardo de Araújo. Simulação numérica de queda de corpos rígidos utilizando o método IMERSPEC. 2019.
17. QUISILEMA-QUIÑALUISA, Jonathan Fernando, et al. Análisis de la estabilidad transitoria en sistemas eléctricos de potencia por el método de Runge-Kutta. Revista vínculos, 2021, vol. 18, no 1.

AUTHOR BIOGRAPHIES



Fuentès H. Yhon Becado por FONDECYT en la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa en el Doctorado de Ciencias de la Computación. Laboro como director del Departamento Académico de Ingeniería de la Universidad Tecnológica de los Andes, Desarrollador de proyectos de software informáticos en empresas privadas y públicas. Estudios: Pasante del Doctorado Ciencias de la Computación en la Universidad la CampinaBRASIL, Grado de Maestría en Gerencia en Tecnologías de Información y Comunicación, Maestría en Recursos Hídricos y Medio Ambiente - UNSAAC. Estudio de Pregrado Ingeniería Informática y Sistemas e Ingeniería Civil.



Salas P. Vanesa Ingeniera Ambiental de profesión, especialista en Evaluación de Impacto Ambiental y Análisis de Riesgos, cuento con 6 años de experiencia profesional; realicé una maestría en Economía con mención en Proyectos de Inversión por la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, poseo conocimientos de software estadísticos, econométricos: SPSS, @Risk, Nlogit, STATA y software de Sistemas de Información Geográfica



CALLO M. ANJHELA R. Doctordado en ingeniería y ciencias ambientales en la UNALM, Magister en química del medio ambiente – UCSM 2013. Ingeniera biotecnóloga , 2da. especialización en auditoria, gestión y estudio ambiental – UNALAM la Molina-Lima 2012; Especialización en manejo de residuos solidos – UCSM 2012.



PUMAPILLO C. ELY J. Ingeniera Informática y Sistema en la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, trabajé en el Área Tecnológica en EsSalud Abancay, Experiencia en Base de Datos SQLServer, MySQL, Oracle, Desarrollo aplicaciones en Programas como Visual Studio, Java, C++ y Python