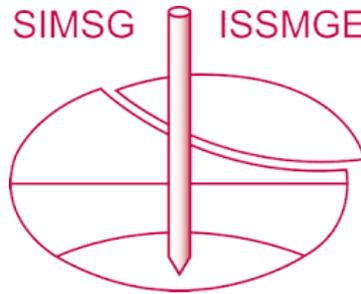


INTERNATIONAL SOCIETY FOR SOIL MECHANICS AND GEOTECHNICAL ENGINEERING



This paper was downloaded from the Online Library of the International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE). The library is available here:

<https://www.issmge.org/publications/online-library>

This is an open-access database that archives thousands of papers published under the Auspices of the ISSMGE and maintained by the Innovation and Development Committee of ISSMGE.

The paper was published in the proceedings of XVI Pan-American Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (XVI PCSMGE) and was edited by Dr. Norma Patricia López Acosta, Eduardo Martínez Hernández and Alejandra L. Espinosa Santiago. The conference was held in Cancun, Mexico, on November 17-20, 2019.

Mejora del Proceso Enseñanza Aprendizaje de la Geotecnia utilizando GeoGebra y una pantalla dinámica desarrollada con la tecnología Kinect© de Microsoft

Félix SOSA^{a,1}, J. Manuel VILLAGRÁN^a y Joaquín SÁNCHEZ^a
^aSecretaría de Estudios de Posgrado e Investigación. SEPI, ESIA. IPN.

Resumen. La era digital es más evidente cada día y se refleja su participación en la mejora de los procesos de enseñanza-aprendizaje de todas las áreas de la Ingeniería Civil. Un ejemplo es en la materia de Mecánica de Suelos, la cual en este proceso de enseñanza, se construyen representaciones matemáticas y físicas complejas las cuales se enseñan de manera tradicional utilizando imágenes estáticas y simples preguntas; como consecuencia, su comprensión es tardada y complicada en un pizarrón convencional.

Bajo este contexto, dichas representaciones 2D y 3D se pueden enseñar con un Software de Geometría Dinámica como es Geogebra, se arman construcciones geométricas que al ser dinámicas, tienen el potencial de lograr mejores resultados en la percepción del fenómeno físico por parte del alumno.

Se ha demostrado en otras áreas que la tecnología combinada con la cinestecia, da resultados interesantes incluso en personas con problemas de aprendizaje o motrices. Es por eso que en este artículo se muestra la tecnología Kinect© de Microsoft y el reconocimiento de patrones del movimiento corporal una pantalla dinámica la cual, por medio de un proyector convencional conectado a una PC, permitirá manipular las construcciones, cambiar parámetros físicos y construir representaciones geométricas complejas de problemas geotécnicos básicos.

Palabras Clave. Enseñanza, aprendizaje, tecnología, Kinect, Geogebra.

1. Introducción

Actualmente emerge una cultura digital encabezada por la globalización [1], las nuevas tecnologías y modelos educativos basados en enfoques por competencias [2], lo cual hace evidente un cambio obligado en el proceso enseñanza aprendizaje. La necesidad de transmitir los conocimientos de una manera diferente es necesaria, la enseñanza en las clases del área de Mecánica de Suelos en la Ingeniería Civil da paso a la solución de problemas que implican representaciones en dos y tres dimensiones, así como el planteamiento de conceptos que incluyen estas características.

Bajo este contexto, el estudiante tiene la necesidad de tener una visualización más completa del problema o de conceptos dados a conocer en el salón de clase y fortalecer

¹ Félix Sosa, Autor correspondiente, Instituto Politécnico Nacional. Av. Luis Enrique Erro S/N, Zacatenco, Delegación: Gustavo A. Madero, Código Postal: 07738, Ciudad de México; Correo Electrónico: fsosac@ipn.mx

el desarrollo del pensamiento, un razonamiento deductivo y el desarrollo de una mayor capacidad espacial y de abstracción.

Por otro lado, las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC), así como la cultura digital atraviesan a las instituciones educativas en todos sus niveles, en todos sus procesos y a todos sus agentes, de tal forma que las instituciones de educación superior no son la excepción. Hasta ahora, de manera lenta, azarosa e irreflexiva, la escuela se ha visto impedida a incorporar las TIC a sus procesos organizacionales y comunicacionales; a los procesos educativos de docencia; y a sus prácticas cotidianas [3].

2. Ambiente de aprendizaje dinámico

La integración de la tecnología en la enseñanza de la Mecánica de Suelos necesita de la implementación de diferentes tipos de software que aseguren un proceso de enseñanza-aprendizaje efectivo. Uno de ellos es el programa Geogebra el cual es un software de código abierto.

El aprendizaje cinestésico es un estilo de aprendizaje que utiliza los sentidos visuales y auditivos y para los cuales los estudiantes están inmersos y aprenden realizando alguna actividad física. Un pizarrón interactivo tiene la ventaja de que se puede manipular mediante movimientos de las manos y utiliza sensores de movimiento. Estos dispositivos disponibles en el mercado son excesivamente caros para su uso de forma cotidiana en escuelas de educación superior [4].

El estudio de las matemáticas inmersas en materias como la Mecánica de Suelos representa un sistema de expresión y abstracción, es el lenguaje por medio del cual se expresan las ideas, conceptos y teorías correspondientes a fenómenos físicos involucrados en la materia. Algunas tecnologías emergentes basados en el procesamiento visual de la información usando sensores de movimiento como lo es el caso de Kinect permite a los estudiantes interactuar y controlar aplicaciones educativas que aportan a una mejor comprensión de los conceptos.

3. Recursos digitales por implementar

El software que utilizamos en este artículo es GeoGebra y se utiliza para todo nivel educativo. Reúne dinámicamente geometría, álgebra, estadística y cálculo en registros gráficos para su análisis y su organización se puede dar en hojas de cálculo. Dinamiza el estudio, armonizando lo experimental y lo conceptual para experimentar una organización didáctica y disciplinar que cruza matemática, ciencias, ingeniería y tecnología [5].

El principal objetivo de esta parte del trabajo es desarrollar un conjunto de herramientas que permitan manipular la proyección de la pantalla de una PC visualizando construcciones geométricas realizadas en Geogebra. Dichas construcciones se refieren a desarrollos teóricos relacionados a las materias de Mecánica de Suelos y Mecánica del Medio Continuo, por ejemplo. Se espera que estos desarrollos geométricos puedan aportar una mejor comprensión de las teorías y sus respectivos conceptos.

3.1. Boussinesq (1885)

Boussinesq aplicando la teoría de la elasticidad calculó la distribución de esfuerzos para cualquier punto dentro de un medio semi-infinito, homogéneo, isótropo y elástico [6]. El incremento del esfuerzo vertical en el punto A ocasionado por una carga puntual de magnitud P está dado por:

$$\Delta\sigma = \frac{3P}{2\pi z^2 \left[1 + \left(\frac{r}{z}\right)^2\right]^{\frac{5}{2}}} \tag{1}$$

donde: $r = \sqrt{x^2 + y^2}$ y x,y,z son coordenadas del punto A.

La representación se puede realizar en Geogebra 2D donde podemos visualizar de mejor forma la distribución de esfuerzos con respecto a la profundidad de una carga puntual en el medio descrito anteriormente. Ver Figura 1.

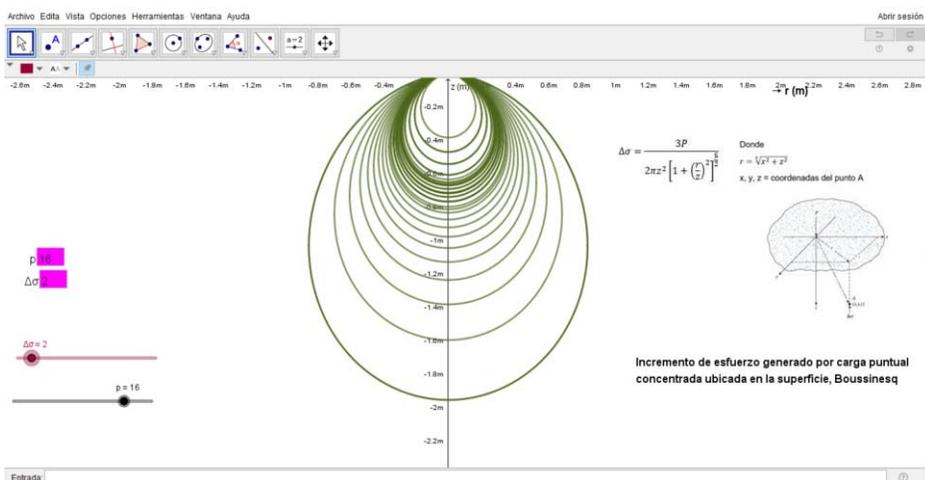


Figura 1. Esfuerzo vertical en un punto A causado por una carga puntual en la superficie en Geogebra. <https://www.geogebra.org/m/wdgbmehd>.

Teniendo como base la ecuación 1, se puede plantear la ecuación 2 la cual se utiliza para obtener el incremento de esfuerzos debajo de una área circular uniformemente cargada y se puede realizar su respectiva representación en 2D, ver Figura 2.

$$\Delta\sigma = q \left\{ 1 - \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{B}{2z}\right)^2\right]^{\frac{3}{2}}} \right\} \tag{2}$$

donde: B=diámetro o ancho de la cimentación y z=profundidad.

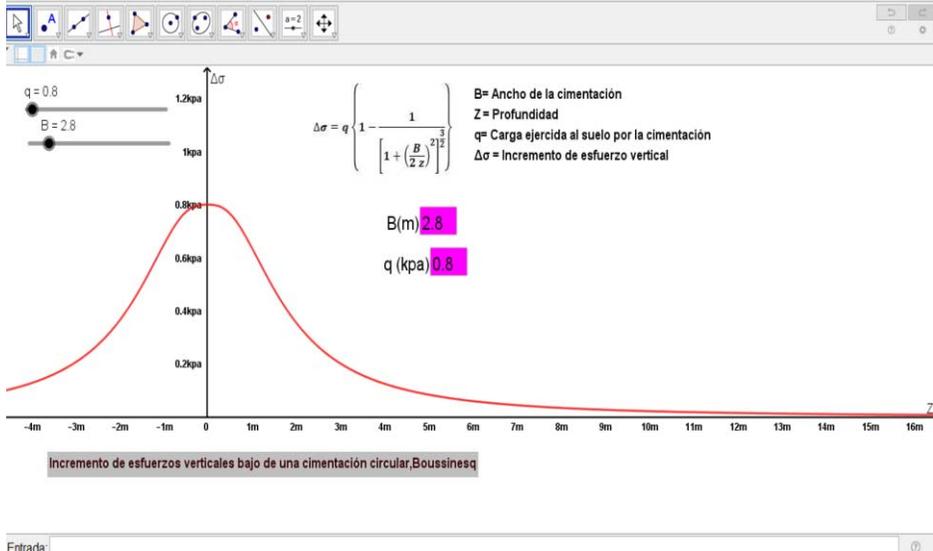


Figura 2. Visualización en 2D para el incremento de esfuerzos debajo de una área circular uniformemente cargada (condición homogénea). <https://ggbm.at/rym54r4d>.

3.2. Fröhlich (1942)

La teoría de elasticidad, con base de un sólido isotrópico homogéneo, no es del todo real para la gama de suelos que existen, pues la mayoría de los suelos son anisotrópicos. El resultado es que los esfuerzos no se disipan tan rápido como la teoría de la elasticidad prevé.

En 1942 Fröhlich modificó la ecuación de Boussinesq, como:

$$\sigma_z = \frac{\chi Q}{2\pi z^2} \cos \chi + 2\psi \tag{3}$$

donde χ es el factor de Fröhlich.

- $\chi=1.5$, aproximadamente la solución de Westergaard, para suelos fuertemente estratificados, reforzados por estratos horizontales múltiples e indeformables ($\nu=0$); $\chi=2$, suelo estratificado, con estratos de diferente deformabilidad; $\chi=3$, solución de Boussinesq, suelo homogéneo e isotrópico; $\chi=4$, suelo homogéneo en que la compresibilidad se reduce con la profundidad, como en el caso de las arenas.

Solución de Fröhlich para un área rectangular cargada uniformemente. Ver Figura 3.

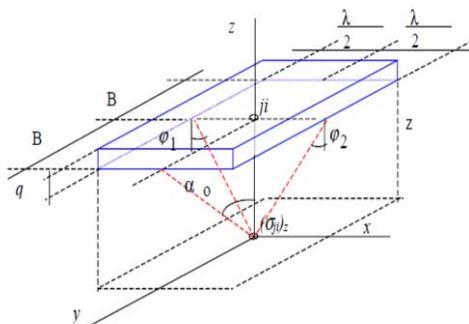


Figura 3. Argumentos para ecuaciones según Zeevaert (1980) [7].

Para $\chi=2$

$$I_{ji} = \frac{1}{\pi} \left(\alpha_0 + \frac{1}{2} \sin 2\alpha_0 \right) (\sin \psi_1 - \sin \psi_2) \tag{4}$$

Para $\chi=3$

$$I_{ji} = \frac{3}{2\pi} \left(\sin \alpha_0 - \frac{(\sin \alpha_0)^3}{3} \right) \{ (\psi_1 - \psi_2) + \sin(\psi_1 - \psi_2) \cos(\psi_1 + \psi_2) \} \tag{5}$$

Para $\chi=4$

$$I_{ji} = \frac{1}{\pi} \left(\frac{3}{2} \alpha_0 + \frac{4}{3} \sin 2\alpha_0 + \sin \alpha_0 (\cos \alpha_0)^3 \right) \left\{ [\sin \psi_1 - \sin \psi_2] - \frac{1}{3} [(\sin \psi_1)^3 - (\sin \psi_2)^3] \right\} \tag{6}$$

Los argumentos angulares son:

$$\alpha_0 = \tan^{-1} \frac{B}{\sqrt{x^2+z^2}} \quad \psi_1 = \tan^{-1} \frac{x+\lambda/2}{z} \quad \psi_2 = \tan^{-1} \frac{x-\lambda/2}{z} \tag{7}$$

donde el esfuerzo vertical en la masa del suelo se obtiene por la siguiente ecuación:

$$\sigma_z = I_{ji} q \tag{8}$$

donde q es la carga transmitida por la cimentación al suelo y I_{ji} factor geométrico.

Las tres consideraciones (ecuaciones 4, 5 y 6) de Fröhlich se grafican y se visualizan en la **Figura 4**, con el fin de observar el incremento de esfuerzos debajo de una área rectangular uniformemente cargada. GeoGebra cuenta con una entrada para colocar la ecuación a graficar; además, cuenta con casillas para manipular las variables en la ecuación, la **Figura 4** muestra las casillas (color magenta) donde las variables para este caso son; B, λ , q y σ ; además, muestra la construcción en 3D para una área rectangular

uniformemente cargada para un suelo homogéneo e isótropo ($\chi=3$). GeoGebra Permite crear fórmulas en LaTeX y/o textos, estáticos o dinámicos, en la vista gráfica.

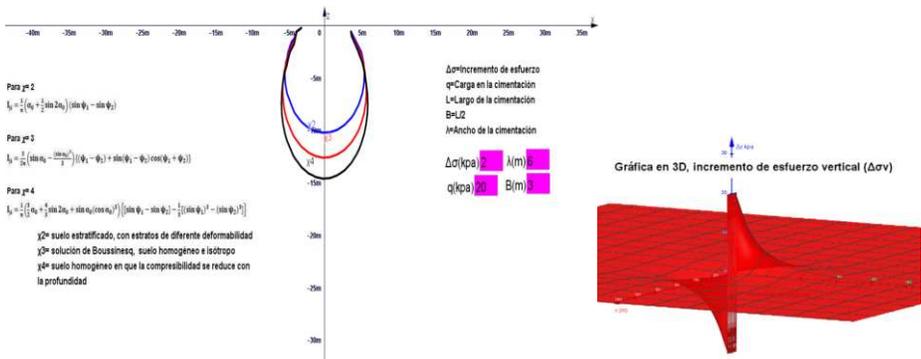


Figura 4. Comparación de esfuerzos para las tres condiciones de Frölich en 2D y condición $\chi=3$ en 3D. <https://ggbm.at/xpctsrkv> y <https://ggbm.at/y8psmydd>, respectivamente.

Las construcciones de las Figuras 1, 2 y 4 se visualizan y se pueden editar en los links que se encuentran al pie de cada una de las figuras; además, se pueden descargar para manipular de mejor manera problemas con diferentes características, previamente descargar Geogebra.

4. Pizarrón interactivo por medio del Kinect

El dispositivo Kinect fue desarrollado por Microsoft, pensado originalmente para la Xbox 360 pero con versiones mejoradas para consolas modernas y para la PC. Este dispositivo puede hacer el seguimiento del movimiento del cuerpo humano por medio de cámaras de profundidad y convencionales, además, de reconocimiento de voz. Esto nos permite tener un dispositivo ideal para poder usarlo en diferentes técnicas de aprendizaje cinestésico [8].

El principal objetivo de esta parte del trabajo es desarrollar un conjunto de herramientas que permitan manipular la proyección de la pantalla de una PC, visualizando construcciones geométricas realizadas en Geogebra. Estas construcciones se refieren a desarrollos teóricos relacionados a las materias descritas en el punto 3. Se espera que estos desarrollos geométricos puedan aportar una mejor comprensión de la teoría de la elasticidad, distribuciones de esfuerzos y modelos constitutivos entre otros.

4.1. Kinect

El dispositivo Kinect es un conjunto de sensores de movimiento y cámaras desarrollado y distribuido por Microsoft que interactúa con la consola Xbox sin necesidad de un control. El hardware de Kinect está basado en la tecnología desarrollada por 3DV System adquirida por Microsoft en Junio de 2009 [9]. Para el software, la tecnología fue desarrollada por Rare, una empresa de Microsoft Game Studios. Como se puede ver en la Figura 5, el dispositivo es una sola pieza compuesta por diferentes sensores. Tiene una base que le permite ajustarse al rango de visión de las cámaras que captan el movimiento. Los sensores y cámaras del Kinect son principalmente: dos cámaras y un lector infrarrojo.

Las cámaras son del tipo *Color Complementary Metal Oxide Semiconductor (CMOS)* que captura la profundidad de los objetos, una cámara de color RGB: rojo, verde y azul) con una resolución de 640x480 píxeles y un sensor de luz infrarroja [9].

Por otro lado, Kinect va a ser la interfaz de interacción entre la PC, el proyector y el alumno para poder lograr los objetivos planteados en este trabajo. Ver Figura 5.

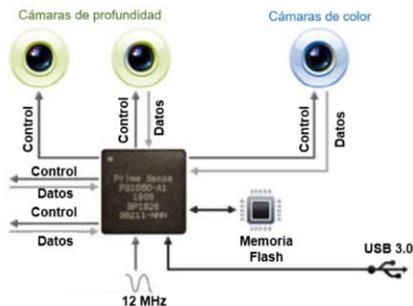


Figura 5. Definición del hardware de Kinect y comunicación entre diferentes tipos de sensores [9].

4.2. Software SDK para Windows

Para poder realizar la conexión del Kinect con la computadora se necesitan librerías, entornos de desarrollo y herramientas como (SDK for Windows) y OpenNI-NITE, ya que Kinect no fue diseñado para usarse con una PC, se necesitan diferentes plataformas que permitan esta interacción [10].

Kinect para Windows Software Development Kit (SDK) Beta, contiene diferentes módulos que se enuncian a continuación:

- Módulo de entrada de datos: permite recibir y manipular los datos generados por los sensores y por los micrófonos.
- Módulo de seguimiento: permite seguir el movimiento de los objetos en el rango de visión de los sensores.
- Módulo de audio: permite procesar todos los datos capturados por los micrófonos de Kinect.

Este software permite controlar Kinect en sus funciones básicas y también sirve como una plataforma de desarrollo que permite mejorar y agregar módulos para desarrollar las capacidades del hardware, típicamente estos entornos de desarrollo utilizan lenguajes de programación típicos como C#, Python, Matlab y C++ [10].



Figura 6. Entorno de control y desarrollo SDK for Windows y OpenNI-NITE [9].

4.3. Aplicación para pizarrón interactivo usando Kinect

Esta aplicación permite sincronizar la pantalla de la PC con el Kinect, controlado desde el escritorio de Windows, esto es posible gracias a los sensores de movimiento descritos anteriormente. De forma general, la aplicación usando un lenguaje de programación C# y Matlab funciona de la siguiente manera [10].

1. Intercepta el cuerpo de una persona (esqueleto), ver Figura 6.
2. Calcula la posición y la distancia de la mano derecha e izquierda en relación a la pantalla del PC.
3. Reemplaza esta posición de la mano derecha por las funciones de ratón en la API de Windows.
4. Se configura los botones del ratón por medio de un cronómetro.

Esta aplicación fue desarrollada en C# [10], la cual sigue los pasos del diagrama anterior que resume las funciones para las que fue diseñado Kinect. El programa principal de la aplicación se presenta a continuación:

Con esta fracción de código inicia Kinect [10] (Figura 7).

```

void SensorDepthFrameReady (AllFramesReadyEventArgs e)
{
    // Muestra la imagen de la cámara en profundidad
    if (WindowState == WindowState.Normal)
    {
        using (DepthImageFrame depthFrame = e.OpenDepthImageFrame ())
        {
            if (depthFrame == null)
            {
                return;
            }

            video.Source = depthFrame.ToBitmapSource ();
        }
    }
}

```

Figura 7. Fracción de código.

Después se extraen los valores del (esqueleto del cuerpo frente a Kinect). Y existe una última parte que consiste en comprobar si la mano del usuario está dentro de un área determinada de la pantalla. Ya que se ha comprobado que las coordenadas están dentro del área determinada, procede a controlar el ratón mediante una función de cronometro.

5. Conclusiones

Es evidente que se puede modificar el rumbo del proceso enseñanza aprendizaje de la Geotecnia utilizando nuevas tecnologías, cambiando la forma de transmitir los conocimientos de una manera convencional a otra utilizando diversas herramientas tecnológicas.

La forma de presentar y dar a conocer los conceptos que se imparten en el área de la Ingeniería Civil puede fortalecer el desarrollo del pensamiento, un razonamiento

deductivo y el desarrollo de una mayor capacidad espacial y de abstracción. Todo esto da como resultado nuevas oportunidades de aprendizaje, lo que podría proveer a los alumnos diferentes habilidades y niveles de entendimiento.

Por otro lado, la interacción del alumno con la computadora se puede usar para crear un amplio rango de técnicas de aprendizaje que pueden ser visuales, animadas, dinámicas o interactivas. El Kinect puede impulsar las prácticas pedagógicas que beneficien a los estudiantes, impulsar la participación de ellos y mejorar la motivación del aprendizaje de la Geotecnia.

Una posible y futura línea de investigación será realizar un estudio sobre la influencia del uso de la herramienta de software Geogebra en la Ingeniería Civil, en específico en el área de la Geotecnia. Realizar estudios de carácter explicativo y cuantitativo para establecer relaciones causales que supongan una descripción y explicación del fenómeno relacionado con la utilización del software Geogebra en el rendimiento académico de los estudiantes.

Referencias

- [1] W.R. Avendaño & R.E. Guacaneme. Educación y globalización: una visión crítica, *Civilizar. Ciencias Sociales y Humanas* **16 30** (2016), 191–206.
- [2] Y. Argudín. *Educación basada en competencias. Nociones y antecedentes*, Trillas, México, Mex., 2005.
- [3] A. Ramírez. & M. Casillas. *Internet en educación superior*, Editorial Brujas, SOCIALTIC, Córdoba: Brujas, 2015.
- [4] N.A. Rodríguez, E. González, N.P. Salinas. & H. Rios. Kinesthetic Learning Applied to Mathematics Using Kinect. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. Elsevier, *Procedia Computer Science* **25** (2013), 131-135.
- [5] Geogebra. www.geogebra.org. (2019)
- [6] B.M. Das. *Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones*, Cengage Learning Editores, Ciudad de México, 2012.
- [7] L. Zeevaert. *Interacción suelo-estructura de cimentación*, Limusa Editores, Ciudad de México, 1980.
- [8] J. Lee, H. Gu, H. Kim, J. Kim, H. Kim & H. Kim. Interactive manipulation of 3D objects using Kinect for visualization tools in education. *13th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS 2013)*, Kimdaejung Convention Center, Gwangju, Korea (2013).
- [9] M. Avancini. *Using Kinect to emulate an Interactive Whiteboard*. Università Degli Studi Di Trento. Thesis. Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali. Italy, 2011.
- [10] W. Smith. Easy Kinect Mouse Controller for Windows. Windows Development Center. 2012.