



**VNiVERSiDAD
D SALAMANCA**

CAMPUS DE EXCELENCIA INTERNACIONAL

Escuela Politécnica Superior de Zamora

MEMORIA DE RESULTADOS

Proyecto de Innovación Docente ID2018/139

SIMULACIÓN DE PRÁCTICAS DE INGENIERÍA CON REALIDAD VIRTUAL INMERSIVA: ENSAYO DE DUREZA

PARTICIPANTES

MANUEL PABLO RUBIO CAVERO

JUAN ORTIZ MARCO

PEDRO HERNÁNDEZ RAMOS

DIEGO VERGARA RODRÍGUEZ

Zamora, 30 de Junio de 2019

1. INTRODUCCIÓN	2
2. PRÁCTICAS DE LABORATORIO Y REALIDAD VIRTUAL	3
2.1. Laboratorios virtuales en la docencia práctica	3
2.2. Realidad Virtual inmersiva	4
3. EL ENSAYO DE DUREZA ROCKWELL.....	6
3.1. Medición de la dureza de un material	6
3.2. Dureza Rockwell	7
3.3. El Durómetro Rockwell	9
3.4. Procedimiento del ensayo.....	10
4. DESARROLLO DE LA APLICACIÓN DE RVI.....	13
4.1. Procedimientos generales de diseño	13
4.2. Diseño específico elegido.....	15
4.3. Elección de Hardware y Software.....	15
4.4. Modelado de los entornos y objetos	17
4.5. Programación de la aplicación de RVI.....	18
4.6. Presentación de la aplicación creada	19
5. METODOLOGÍA DE USO EN LAS CLASES	23
6. RESULTADOS	23
7. CONCLUSIONES	24
8. REFERENCIAS	24

1. INTRODUCCIÓN

El presente proyecto de innovación docente versa sobre el desarrollo de una aplicación informática de gráficos tridimensionales que mediante el uso de la Realidad Virtual Inmersiva (RVI), permita a un estudiante familiarizarse con los contenidos de una práctica de laboratorio, su implementación en las clases de las asignaturas de las titulaciones de ingeniería y comprobación si el uso de la RVI mejora el aprendizaje, la comprensión y las destrezas manuales implicadas en la práctica. Este tipo de aplicaciones informáticas se denominan genéricamente, Laboratorios Virtuales Tridimensionales (LV-3D) y su uso está aumentando cada día en la enseñanza universitaria.

La motivación docente para crear un laboratorio virtual como el que ocupa este trabajo reside en el hecho de que a la hora de realizar una práctica de laboratorio que implique el uso de instrumentos o máquinas específicas resulta conveniente que el estudiante esté previamente familiarizado con su funcionamiento. Los métodos habituales para adquirir los conocimientos necesarios son:

- Guías en forma de texto acompañado de fotografías, dibujos, esquemas, etc., que pueden ser complicadas de comprender y despiertan poco interés en el estudiante.
- Vídeos, que si bien pueden ser claros, la actitud pasiva de quien los visiona puede hacer que la fijación de conceptos no sea todo lo eficiente que sería deseable.

En contraposición a los dos métodos expuestos, se esperaba que el uso de una herramienta similar a un videojuego 3D permitiera al alumno adquirir, de un modo ameno e interactivo, las habilidades básicas que le permitan utilizar una máquina real durante una práctica real de laboratorio.

Las tecnologías de información y comunicación (TIC) habitualmente empleadas para crear los laboratorios virtuales cubren todos los niveles de complejidad posibles siendo las más elaboradas las que utilizan técnicas de realidad virtual, inmersiva y no inmersiva. En este proyecto se ha explorado un nuevo campo aplicando entornos de realidad virtual inmersiva en las prácticas de las asignaturas de Ciencia de Materiales. En concreto a los ensayos de dureza, dentro de los ensayos de caracterización de materiales.

Los profesores del equipo pertenecen al Área de Expresión Gráfica (que han aportado los conocimientos técnicos para crear la aplicación de realidad virtual) y al Área de Ciencia de Materiales (que han aportado los conocimientos específicos del tema

y el desarrollo de las prácticas).

2. PRÁCTICAS DE LABORATORIO Y REALIDAD VIRTUAL

2.1. Laboratorios virtuales en la docencia práctica.

El uso de Laboratorios Virtuales Tridimensionales (LV-3D) está aumentando cada día en la enseñanza universitaria. Las numerosas experiencias docentes que se han publicado en la última década sugieren que el progreso de esta línea de trabajo está extendiéndose incesantemente, especialmente en titulaciones de ingeniería [1,2]. Además de por la motivación docente expuesta en el punto anterior, esto es debido a que la maquinaria empleada en titulaciones de ingeniería suele ser delicada y/o cara, o a que la propia universidad no dispone de esas instalaciones y el profesor se ve limitado para desarrollar las clases prácticas de su asignatura. De esta manera, hay muchos ejemplos de LV que mejoran el proceso de enseñanza-aprendizaje en ingeniería, ya que ayudan a: (i) reducir los costes de ejecución de los ensayos reales [3]; (ii) aprovechar al máximo el espacio disponible alrededor de una máquina para que, en una clase masificada, todos los alumnos reciban una formación adecuada [4]; (iii) evitar problemas o accidentes [5,6], riesgo con experimentos químicos [7], etc.; (iv) mostrar de una manera interactiva y eficaz el contenido teórico antes de ver el contenido práctico en un ensayo real [8]; etc.

Dentro de los LV-3D existen dos categorías generales en función de los dispositivos de visualización e interacción empleados: (i) Los no inmersivos (ventana en el mundo), en los que la visión del usuario es a través de la pantalla plana del ordenador (que actúa como una ventana), controlándolo con el teclado y el ratón y (ii) los inmersivos, que introducen completamente al usuario en el mundo virtual a través de gafas con dos mini pantallas delante de los ojos, controlándolo con mandos interactivos.

La mayoría de las aplicaciones de realidad virtual creadas y utilizadas en la docencia de este grupo de profesores han sido del tipo no inmersivo. En el Proyecto de innovación y mejora docente de 2017/2018, "Aplicación de técnicas de Realidad Virtual Inmersiva en asignaturas de dibujo técnico" este equipo desarrolló por primera vez una aplicación de RVI y su metodología de uso en las clases.

En el proyecto de este curso se ha creado una herramienta de RVI de aplicación en las prácticas de ingeniería. Para ello y como prueba, se ha elegido el ensayo de dureza

dentro del tema de los ensayos de caracterización de materiales. Y el objetivo era obtener un laboratorio virtual tridimensional totalmente inmersivo que simule este ensayo y aplicarlo en las prácticas de las asignaturas implicadas. Además, se abre la posibilidad de crear otras herramientas para las prácticas de otras asignaturas.

En definitiva, se ha creado un laboratorio equipado con un durómetro en él que se simula el proceso de medición de dureza Rockwell de dos probetas dadas, una en escala HRB y otra en escala HRC. El durómetro utilizado como referencia es de la marca CENTAUR, corresponde al modelo RB2 y la Escuela Politécnica Superior de Zamora cuenta con uno real en uno de los laboratorios de ensayos.

Como antes se ha dicho, las tecnologías (TIC) que parecen más eficaces en la mejora de la comprensión y visualización de conceptos tridimensionales son las que emplean aplicaciones informáticas en forma de entornos tridimensionales interactivos. En ellas se modela la realidad en forma de gráficos 3D con un alto grado de interacción que permiten la simulación y experimentación de diversos fenómenos o situaciones de la realidad [9]. Además, ayudan a visualizar y controlar información compleja difícil de procesar. Este tipo de aplicaciones gráficas tridimensionales interactivas se denomina genéricamente “Realidad Virtual”, ya que se genera matemáticamente en un ordenador.

2.2. Realidad Virtual inmersiva

La realidad virtual (RV) es la simulación por ordenador dinámica y tridimensional de escenas complejas, a través de la cual los usuarios pueden adentrarse con ayuda de dispositivos a un mundo diferente al suyo. Se caracteriza principalmente por su comportamiento dinámico y su operación en tiempo real. Además, es capaz de reaccionar ante el comportamiento de los usuarios, ofreciéndoles una experiencia inmersiva, interactiva y multisensorial [10].

Los usos más avanzados en la RV están enfocados a la simulación de un entorno tridimensional creado por ordenador, en él, el usuario siente que está en un mundo virtual que percibe a través de diferentes dispositivos: gafas, mandos, guantes, trajes especiales, etc. [11,12]. Este tipo de RV se conoce como Realidad virtual inmersiva (RVI). El término inmersivo se añade para hacer referencia a que el usuario puede sumergirse en el mundo virtual, realizar movimientos e interactuar con objetos y personas virtuales con una experiencia cercana a la que viviría en el mundo real.

La RV totalmente inmersiva es todavía una tecnología emergente y no se conoce

todo su potencial en el ámbito de la educación pero sí se sabe que permite el aprendizaje basado en escenarios y experiencias [13-15].

2.3. Realidad virtual y docencia

La Realidad Virtual es un recurso didáctico del que los profesores se pueden servir para motivar y atraer la atención de los estudiantes a través de los gráficos tridimensionales de calidad y del alto grado de interactividad ofrecida por los sistemas virtuales [6]. Son similares a los laboratorios virtuales en el modelado de la realidad, simulación y experimentación pero con una gran ventaja: ayudan a visualizar y controlar información compleja que, a priori, es difícil de procesar. Presentando esta información en un espacio tridimensional y permitiendo la interacción con ella, se logra convertir una experiencia abstracta (el manejo de la información) en una experiencia similar a las del mundo real, convirtiendo lo abstracto en concreto.

Además, el uso de la RV tiene otras ventajas genéricas [16]:

- Mejora la comprensión: En algunas ocasiones se hace difícil lograr la comprensión total de un concepto, fundamentalmente cuando este es muy abstracto o complejo. Por eso, mostrarlo en todas sus dimensiones con la realidad virtual puede facilitar su comprensión y correcto procesamiento.

- Ahorra tiempo: Como los conocimientos se comprenden más rápido los resultados pueden obtenerse en menor tiempo, con lo que el docente podrá dedicar más tiempo de la clase a explicar otros conceptos adyacentes a la información principal que desea transmitir y generar así una lección más completa.

- Genera conocimientos más duraderos: Lo que se experimenta generalmente se recuerda por más tiempo y con mejor claridad que lo que otra persona nos cuenta. Por eso las lecciones que incluyen una parte emotiva, como las que pueden darse con la VR, crean conocimientos más estables y duraderos en el tiempo.

- Favorece la atención de los estudiantes y la cooperación entre ellos: La creación de experiencias inmersivas puede aumentar los tiempos de atención de los estudiantes así como también facilitar los hábitos de trabajo en equipo.

Desde el punto de vista de las aplicaciones actuales de la realidad virtual al aprendizaje en ingeniería, la mayoría son simulaciones de laboratorios virtuales tridimensionales (LV-3D) enfocados a la realización de prácticas con equipos complejos, voluminosos, costosos o peligrosos que dificultan el uso por parte de un

número elevado de estudiantes. Con ello se consigue que cada estudiante tenga su práctica y obtenga una experiencia muy cercana a la práctica real. También se pueden obtener resultados técnicos similares a los de la práctica real o la evaluación del aprendizaje mediante cuestiones o ejercicios incluidos en la misma aplicación [17-19].

Sin embargo, el uso de la realidad virtual en la educación de ingeniería se extiende más allá del uso de LV-3D. Por un lado, unas aplicaciones de realidad virtual se centran en el diseño y la simulación de un proyecto de ingeniería, que se basan no solo en el uso de técnicas sino también en la verificación interactiva de los resultados obtenidos [20-22]. Por otro lado, otras aplicaciones de realidad virtual pretenden mejorar la comprensión de diferentes conceptos: comprensión espacial de conceptos abstractos, gráficos tridimensionales complejos, procesos de producción, fabricación, procesos de operación, ensamblaje, etc. [23-25]. Finalmente, una tendencia reciente es relacionar entornos de aprendizaje de realidad virtual con juegos serios y, de esta manera, motivar a los estudiantes a través de un procedimiento de gamificación del proceso de enseñanza-aprendizaje [26].

3. EL ENSAYO DE DUREZA ROCKWELL

3.1. Medición de la dureza de un material

La dureza de un material es una medida de la resistencia del material a la deformación plástica localizada. Se puede considerar como la oposición que ofrecen los materiales a alteraciones como la penetración, la abrasión, el rayado, la cortadura o las deformaciones permanentes, entre otras. Hay tres tipos principales de medidas de la dureza: rayado, elástica e indentación. Dentro de cada una de ellas existen diferentes escalas de medición. Es común el uso de tablas de conversión para convertir valores entre una escala y otra. Las pruebas de dureza de indentación componen la mayoría de los procesos utilizados para determinar la dureza de un material.

El ensayo de indentación, consiste en presionar un indentador (p.e. una bola indeformable) sobre la superficie de una probeta dejando una impresión sobre el material (figura 1). Dependiendo de la carga máxima aplicada y de la geometría de la huella dejada se puede obtener el valor de la dureza que no es más que la presión de contacto media durante la carga máxima. Esto equivale a definirla como la resistencia de un material a ser deformado permanentemente.

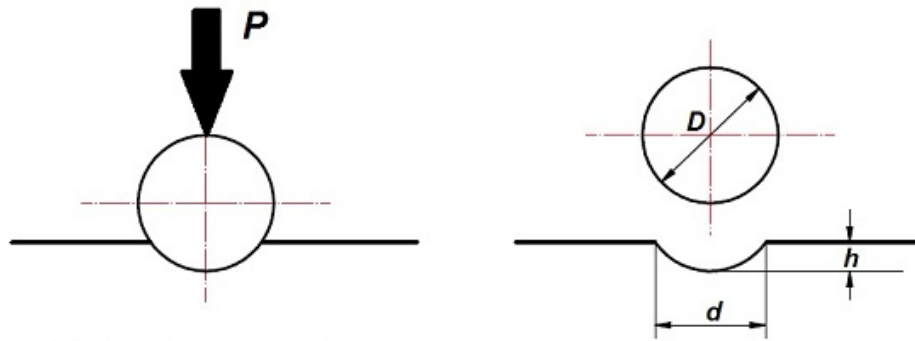


Figura 1. Esquema de un ensayo de indentación (bola)

Hay varias pruebas de indentación, entre ellas:

- Prueba de dureza Vickers (HV), que tiene una de las escalas más amplias.
- Prueba de dureza Brinell (HB).
- Prueba de dureza Knoop (HK), para medir sobre superficies pequeñas.
- Prueba de dureza Janka, para madera.
- Prueba de dureza Meyer.
- Prueba de dureza Rockwell (HR).
- Prueba de dureza de Barcol, para materiales compuestos.

3.2. Dureza Rockwell

El ensayo de dureza Rockwell es uno de los métodos más usados para medir la dureza de los metales debido a que es muy simple de llevar a cabo y no requiere conocimientos especiales. Se pueden utilizar diferentes escalas que provienen de la utilización de distintas combinaciones de penetradores (indentadores) y cargas, lo cual permite ensayar virtualmente cualquier metal o aleación desde el más duro al más blando. Los indentadores son bolas esféricas de acero endurecido que tienen diámetros 1/16, 1/8, 1/4 y 1/2 pulgada y un penetrador cónico de diamante (Brale), que se utiliza para los materiales más duros.

Con este sistema, se determina un número de dureza a partir de la diferencia de profundidad de penetración que resulta al aplicar primero una carga inicial pequeña y después una carga mayor; la utilización de la carga pequeña aumenta la exactitud de la medida. Basándose en la magnitud de las cargas mayores y menores, existen dos tipos

de ensayo: Rockwell y Rockwell superficial. En el ensayo de Rockwell, la carga menor (también llamada precarga) es de 10 kg, mientras las cargas mayores son de 60, 100 y 150 kg. La figura 2 muestra fotografías de diferentes indentadores Rockwell.



Figura 2. Penetradores de bola y diamante para ensayo Rockwell [].

Cada escala está representada por una letra del alfabeto; en la tablas 1 se indican varias de estas escalas junto con los indentadores y cargas correspondientes.

Escala de dureza Rockwell		
Símbolo de la escala	Penetrador	Carga mayor (kg)
A	Diamante	60
B	Bola de 1/16 pulg.	100
C	Diamante	150
D	Diamante	100
E	Bola de 1/8 pulg.	100
F	Bola de 1/16 pulg.	60
G	Bola de 1/16 pulg.	150
H	Bola de 1/8 pulg.	60
K	Bola de 1/8 pulg.	150

Tabla 1. Escalas de dureza Rockwell [].

Cuando se especifican durezas Rockwell y superficiales, debe indicarse, además del número de dureza, el símbolo de la escala utilizada. La escala se designa por el símbolo HR seguido por una identificación de la escala. Por ejemplo, 80HRB representa una dureza Rockwell de 80 en la escala B.

3.3. El Durómetro Rockwell

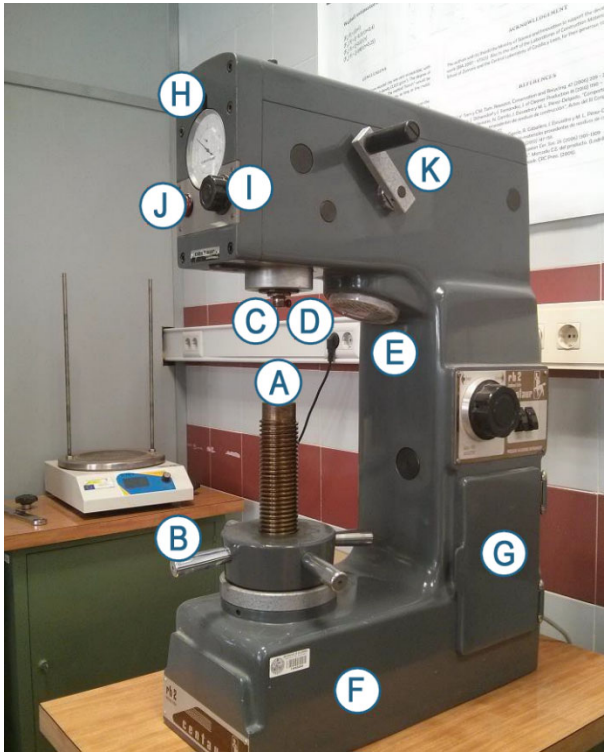
Un durómetro es un dispositivo que permite medir la dureza de los materiales. Los durómetros más utilizados son los de tipo Rockwell, Brinell, Vickers y Microvickers. En todos ellos el procedimiento básico consiste en aplicar una fuerza normalizada sobre un elemento penetrador (o indentador), también normalizado, que a su vez genera una presión puntual sobre la probeta del material que se quiere ensayar. El penetrador produce así una huella sobre el material. La dureza del material se obtiene en función de la profundidad o tamaño de la huella.

Dentro de cada uno de estos procedimientos para medir la dureza existen varias combinaciones de cargas e indentadores, que se utilizarán dependiendo de la muestra a ensayar. Los durómetros se emplean principalmente en la industria metalúrgica y de la construcción.

En los ensayos de dureza Rockwell, las unidades de dureza se establecen por la medida de la profundidad de la huella dejada por el indentador sobre la probeta. El propio durómetro arroja el valor de la dureza y dependiendo de la escala utilizada no es necesario realizar ningún cálculo.

El durómetro Rockwell utilizado en el presente trabajo es un durómetro manual y analógico, modelo RB2, fabricado por CENTAUR que permite realizar ensayos tanto Rockwell y como Brinell. Si bien, permite realizar ensayos Rockwell en escala A y como la esfera del indicador solamente permite lecturas directas en escalas B y C, por simplicidad se han usado únicamente estas dos escalas.

El durómetro empleado y las partes que lo forman se muestran en las siguientes figuras:



- A. Porta-probeta.
- B. Manillas.
- C. Porta-indentador.
- D. Tornillo de sujeción de indentador.
- E. Luz.
- F. Bancada.
- G. Puerta columna de carga.
- H. Indicador.
- I. Rueda de ajuste.
- J. Piloto.
- K. Palanca de aplicación de carga.
- L. Horquilla de selección de carga.
- M. Columna selectora de carga.



Figura 3. Partes del durómetro Rockwell.

3.4. Procedimiento del ensayo

El procedimiento para realizar un ensayo puede esquematizarse como se indica en la figura 4:

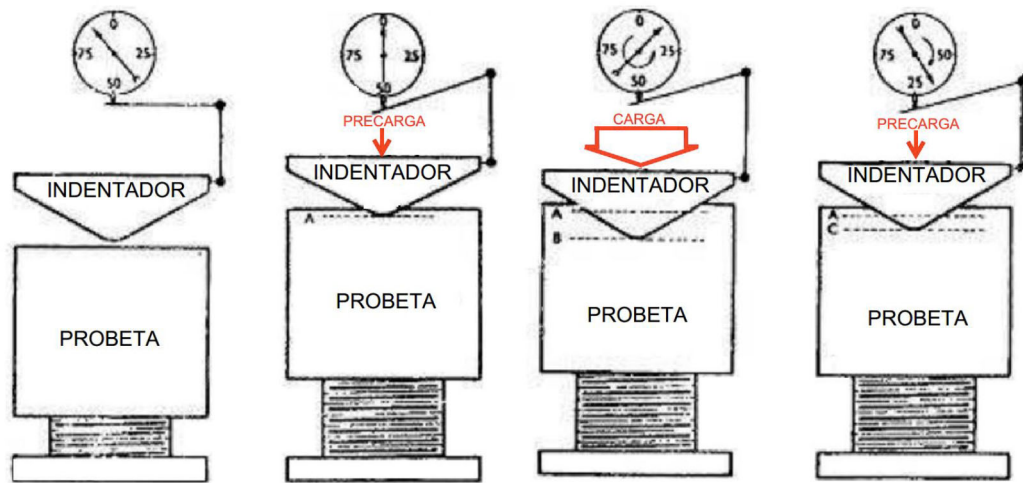


Figura 4. Esquema de procedimiento del ensayo de medida.

Al aplicar la precarga el indentador se hundirá en la probeta hasta la posición A, y en ese punto se sitúa manualmente el indicador a cero. Se aplica la carga principal, que se superpone a la precarga, y el indentador se hunde hasta la posición B, se retira la carga (manteniendo la precarga) y el indentador retrocederá hasta la posición C, que estará por encima de B y por debajo de A. En este momento se debe realizar la lectura del valor de dureza señalado en el indicador.

En el procedimiento de medida real con el durómetro hay que tener en cuenta la esfera del indicador en detalle e identificar sus componentes (figura 5)

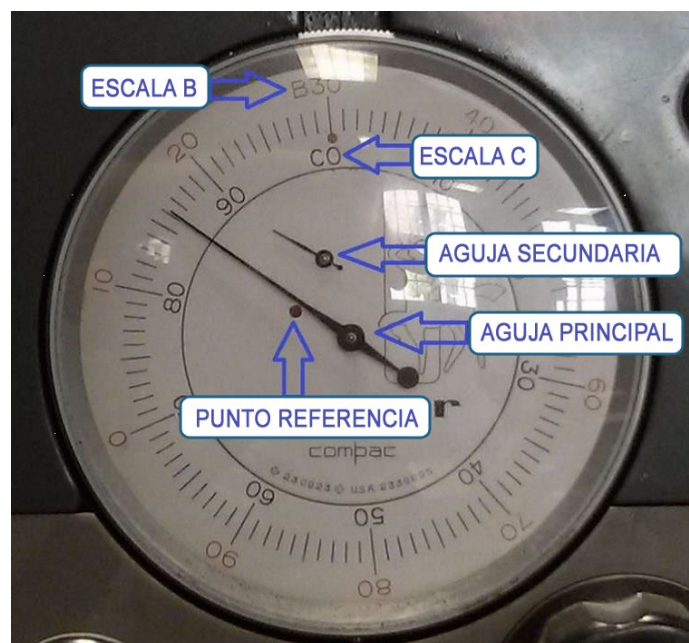


Figura 5. Detalle de la esfera del indicador.

A continuación se exponen los pasos que deben seguirse para llevar a cabo un ensayo de dureza Rockwell en un durómetro manual como el que se ha utilizado en el presente trabajo.

1. Antes de iniciar el ensayo debe decidirse qué escala utilizar, en este caso B o C, dependiendo del material. Seleccionar el indentador adecuado dependiendo de la escala a utilizar. Se puede obtener información acerca de la carga e indentador a utilizar consultando la información disponible en la propia puerta (G) del durómetro (figura 6).

TABLA GENERAL DE CARGAS, PENETRADORES Y ESCALAS				
A utilizar con el Durómetro "CENTAUR" Mod. "RB 2"				
Materia	Escala	PENETRADOR	Carga Kg.	CAMPO DE EMPLEO
ROCKWELL	B	Bola 1/16"	100	Metales ferrosos y no ferrosos 65 a 200 H Brinell.
	C	Cono 120°	150	Aceros al carbono, especiales tratados o no. 200 a 700 H Brinell.
	F	Bola 1/16"	60	Metales no ferrosos blandos, en particular latón recocido 35 a 100 H Brinell.
	G	Bola 1/8"	100	
	N	A	Cono 120°	60
D	D	Cono 120°	100	
BRINELL	30 D	Bola 2.5"	187.5	Aceros, fundición 140 a 400 H Brinell. Por encima de 400 HB, espesajamos Rockwell HRC.
	10 D	Bola 2.5"	82.5	Aleaciones ligeras, aleaciones en cobre de 50 a 300 H Brinell.
	5 D	Bola 2.5"	31.25	Brinell 20 a 150 HB Cobre, aluminio, sales recocidas, etc.
	2.5 D	Bola 5"	62.5	
	1.25 D	Bola 5"	31.25	Metales muy blandos (Plomo, estaño, etc.) en durezas de 3 a 40 H Brinell.
1 D	Bola 10"	31.25	Como regla general, los diámetros de las impresiones deben ser siempre entre 0.25 y 0.5 D.	

Figura 6. Tabla de información adjunta a la puerta del durómetro.

2. Encender el durómetro, abrir la puerta (G) y colocar la horquilla (L) en la columna (M) de selección de carga en el valor 100 (Rockwell B) o 150 (Rockwell C).
3. Cerrar la puerta (G), colocar el indentador en el porta-indentador (C) y apretar el tornillo de ajuste (D).
4. Situar la probeta a ensayar sobre el porta-probetas (A).
5. Girar las manillas (B) de modo que el vástago roscado haga subir al porta-probetas (A) acercando así la probeta al indentador hasta que éste empiece a

tocar la probeta.

6. Continuar girando las manillas (B) más despacio hasta que la aguja secundaria de la esfera del indicador (H) señale al punto de referencia situado en su parte inferior izquierda, en ese momento la aguja principal del indicador quedará en posición vertical. En este momento la precarga está aplicada.
7. Girar la rueda de ajuste (I) y situar el cero de la escala que hayamos seleccionado alineado con la aguja principal del indicador.
8. Empujar levemente hacia adelante la palanca (K) de aplicación de carga, ésta seguirá girando sola a la vez las agujas del indicador girarán durante unos segundos.
9. Una vez la palanca (K) y las agujas se han detenido, el piloto rojo (J) se iluminará, en este momento la carga principal está aplicada.
10. Mover la palanca (K) devolviéndola a su posición inicial, el piloto rojo (J) se apagará y nuevamente solo estará aplicada la precarga.
11. Realizar la lectura del valor de dureza en la escala seleccionada.

Este es el procedimiento que se debe implementar en la aplicación de RV de una forma lo más clara posible para que el estudiante repase y practique los pasos de la medida de la dureza.

4. DESARROLLO DE LA APLICACIÓN DE RVI

4.1. Procedimientos generales de diseño

Antes de comenzar con el diseño y la programación de una aplicación de RVI en general y en docencia para ingeniería en particular, es necesario tener claro si el uso de la RV va mejorar el aprendizaje, si merece la pena el esfuerzo que hay que hacer. Son tantas las áreas que se abarcan que actualmente es imposible crear usos específicos en todas las disciplinas y como se dijo antes, la aplicación actual principal es la simulación de entornos y procesos en tres dimensiones, en este caso un laboratorio y la máquina con sus mecanismos para efectuar la medida.

Pantelidis [27] propone un modelo para elegir cuándo es factible usar RVI.

- Se definen o se seleccionan los objetivos específicos de la aplicación.
- Se marcan los objetivos que se podrían lograr mediante una simulación generada por ordenador,

- Se determina cuál de ellos podría utilizar una simulación interactiva tridimensional. Si no se obtiene ninguno, la RVI no será útil.

Una vez que se comprueba la viabilidad de aplicar la RVI al tema elegido, el proceso de creación de la aplicación puede seguir los siguientes pasos (Figura 7):

- Se decide el nivel de realismo que se busca en cada objetivo en una escala de muy simbólico o esquemático a muy realista.
- Se elige el nivel de interacción del usuario con el entorno que puede estar entre no tener ninguna o ser completa. La interacción elegida determinará los sentidos implicados (p.e. táctil, sonoro o sólo visual) y el grado de control y de inmersión que tendrá el usuario.
- De acuerdo con las opciones adoptadas en los puntos anteriores, se eligen el hardware y el software de programación que mejor se adapten para cumplir los objetivos propuestos.
- Se modela el mundo virtual, se programa la interactividad y se genera la aplicación intentando reducir los tiempos de respuesta para que la experiencia sea lo más real posible.
- Por último se evalúa con un grupo de usuarios para comprobar los objetivos conseguidos y hacer las modificaciones necesarias si no se han alcanzado [28].

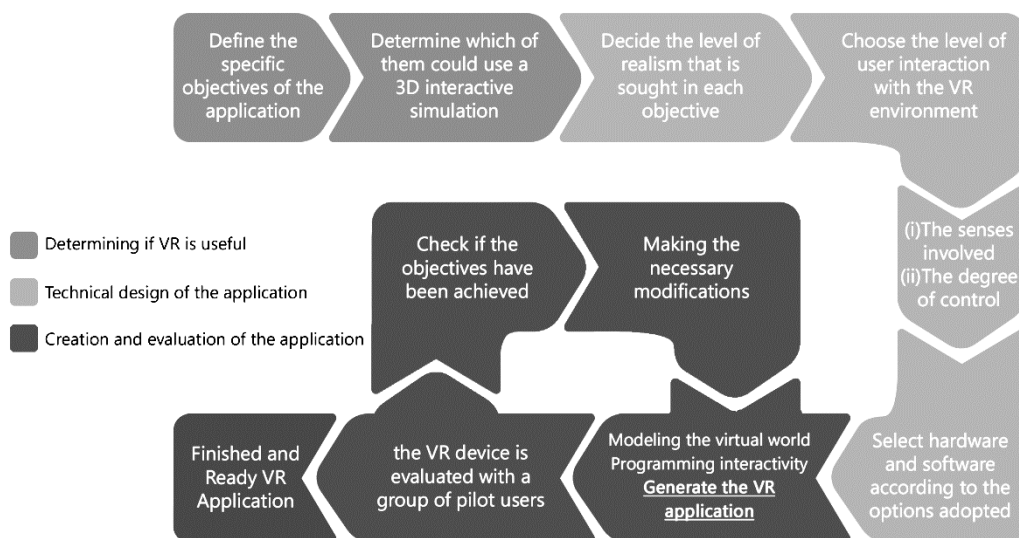


Figura 7. Esquema del diseño de una aplicación de RVI. Tomado de [28]

4.2. Diseño específico elegido.

Para poder aplicar el procedimiento general propuesto para elaborar una aplicación de RVI, se tomaron las decisiones necesarias para cumplir con los siguientes requisitos:

- Simular una sala realista en iluminación y materiales, similar a un laboratorio de prácticas de una universidad.
- Mostrar una apariencia realista y detallada del durómetro y de su funcionamiento.
- Mostrar el funcionamiento del durómetro paso a paso.
- Interacción del estudiante en tiempo real y con realidad virtual inmersiva.
- Controles lo más simples posible.
- Ejercicio final para realizar la lectura de la dureza.

4.3. Elección de Hardware y Software.

Como se ha indicado antes, la elección del *hardware* depende de los niveles de realismo, inmersión e interacción elegidos en función de los objetivos de la aplicación. Cuantos más sentidos del usuario se quiera implicar mayor será la complejidad de los dispositivos y su programación, incluso algunos pueden no estar todavía desarrollados para su uso fuera de los centros de investigación. Los más frecuentes son la visión y el oído. Las manos se usan solo en el manejo de los controles, no en la recepción de estímulos táctiles (tacto, temperatura, etc.).

En los sistemas inmersivos, se emplean cascos montadas en la cabeza con una pantalla en cada ojo (HMD). La tarjeta gráfica es fundamental, se requiere una gran capacidad de cálculo para generar dos imágenes simultáneamente, una en cada ojo.

El sistema elegido fue HTC Vive. Es uno de los sistemas más avanzado de realidad virtual en la actualidad y está disponible gracias al proyecto de innovación docente ID2017/152: “*Aplicación de técnicas de realidad virtual inmersiva en asignaturas de dibujo técnico*”. El sistema de realidad virtual HTC Vive se compone de gafas, mandos y bases de posicionamiento (Figura 8a). Las gafas permiten al usuario mirar en cualquier dirección y cuenta con unos controles para que el usuario pueda interactuar con los diferentes objetos del mundo virtual. Lo que diferencia al sistema Vive de todos los demás sistemas de realidad virtual es que permite que el usuario camine por el

entorno, con una interactividad mayor.

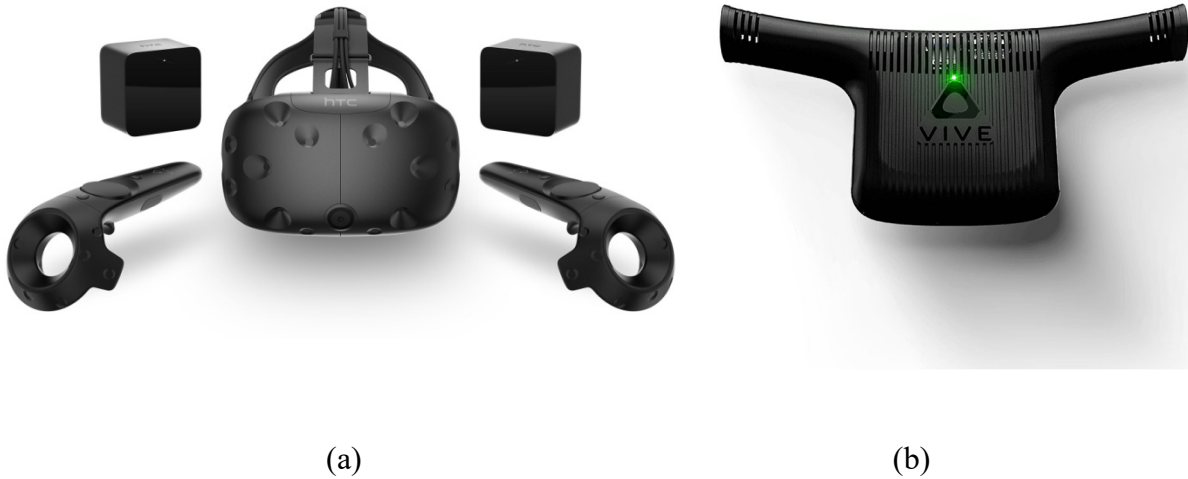


Figura 8. HMD HTC Vive y Wireless Adapter.

También se ha utilizado un dispositivo (Wireless adapter, Figura 8b) complementario al casco HTC Vive, adquirido gracias a la financiación concedida con este proyecto de innovación y que permite conectar el casco de forma inalámbrica con el ordenador haciendo más cómodo y seguro su uso.

El hardware empleado incluye un ordenador de gran potencia ya existente en el Área, (Acer Veriton M4620G, Intel Core I7 3.40GHz, 12GB RAM) como equipo base para el desarrollo de la aplicación y plataforma informática de las gafas de realidad virtual. Incluye una tarjeta gráfica de altas prestaciones (Nvidia Geforce GTX 1060 específica para RV) necesaria para la ejecución fluida de la aplicación.

En la elección del *software* se separan las tareas de modelado de los entornos 3D de las de programación de la interactividad en dos tipos de programas.

Se ha seleccionado Autodesk 3DS Max para realizar el modelado de entornos y piezas, debido principalmente a su versatilidad y la gran cantidad de documentación que existe de este software. Es el más utilizado en ingeniería, arquitectura y en la creación de videojuego. Además, Autodesk 3DS Max no requiere el pago de licencias si se utiliza con fines puramente educativos.

La programación de la aplicación de realidad virtual se ha llevado a cabo utilizando Unreal Engine 4 (UE4) de la empresa "Epic Games", que permite programar sin

necesidad de teclear código con un sistema de redes de nodos interconectados (llamados blueprint) que facilitan el trabajo. Con UE4 se puede ver en tiempo real lo que se está haciendo. Este motor de programación es ampliamente utilizado en la creación comercial de videojuegos y su licencia es gratuita si no se utiliza con fines lucrativos.

4.4. Modelado de los entornos y objetos

Existen varias formas de modelar, pero en este caso se ha optado por partir de objetos simples (un cilindro, un cubo, una esfera, una superficie plana, etc.) que posteriormente se ha convertido en una malla de tipo “Editable Poly”. A partir de aquí se han aplicado modificadores como el de chaflán para suavizar bordes, escalado del objeto en tres ejes o en un solo plano, rotado, copiado, etc. Posteriormente se han aplicado materiales, proviniendo éstos del propio software o de internet. La Figura 9 muestra el laboratorio modelado en 3ds Max habiendo ocultado 3 paredes y el techo.

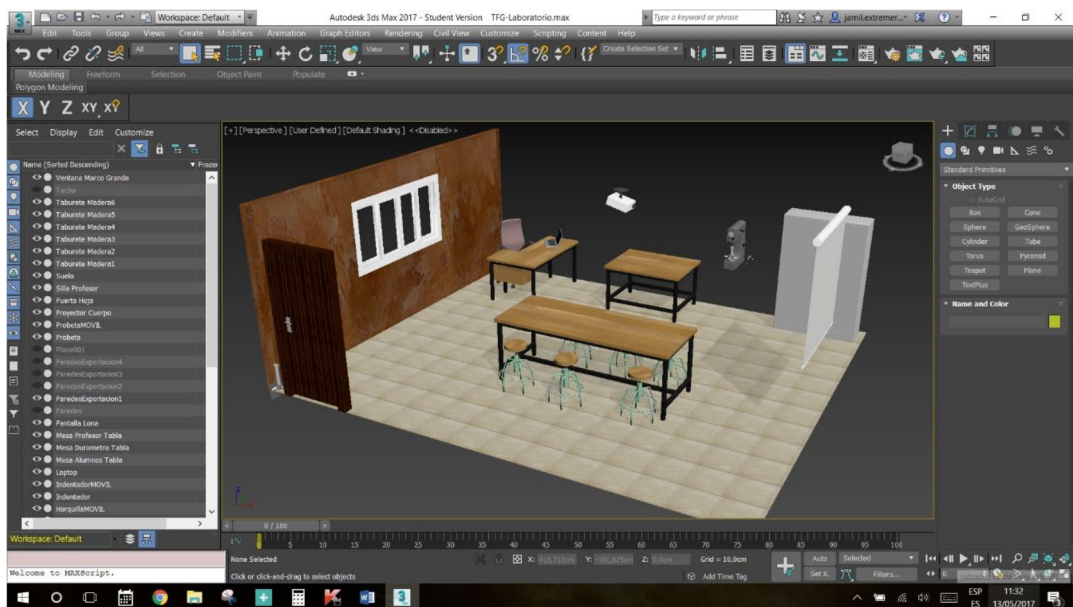


Figura 9. Laboratorio modelado en 3ds Max (paredes y techo ocultos).

En el trabajo con este programa, se siguen una serie de pasos que suelen llevar a un desarrollo correcto y eficiente. En este caso concreto se emplearon solo tres de los pasos ya que los modelos obtenidos se utilizan en el motor de desarrollo para obtener la herramienta interactiva. Estos pasos fueron:

- **Recopilación de información:** este paso consiste en reconocer las características de aquello que se va a modelar ya sea mediante fotos, vídeos,

planos o cualquier cosa que permita tener una mayor referencia visual de los objetos de la escena.

- **Modelado:** aquí la idea es dar forma a toda aquella información visual que se ha obtenido en el primer paso, utilizando las diferentes herramientas que 3DStudio MAX aporta.
- **Diseño de materiales:** llegados a este punto el paso a seguir es darle algún material al objeto que se está diseñando. Esto se hace mediante el Editor de Material que permite crear materiales realistas definiendo la jerarquía de las características de la superficie del objeto.

A continuación, hay que hacer un paso intermedio de conversión de formatos de archivo para pasar de un programa a otro.

4.5. Programación de la aplicación de RVI

Una vez modelado el laboratorio y sus componentes en 3ds Max se inicia la segunda parte del proyecto, que es aquella que engloba todo lo relacionado con la programación que dará interactividad al modelo. Partiendo del modelo 3D creado, el producto final de la programación es una aplicación interactiva similar a un videojuego en tres dimensiones que permite simular la realización de un ensayo de dureza.

En el apartado de programación podemos distinguir dos fases. La primera fase es la creación de un guion de programación, es decir, qué queremos que la aplicación haga y cómo. La segunda fase consiste en implementar el guion en Unreal Engine 4, es decir, programar la aplicación.

- **Guion de programación:** La aplicación se ejecuta en primera persona, el usuario aparece en el laboratorio que tiene diverso mobiliario y el durómetro con él que hará el ensayo. Ve solo sus manos accionadas por los controladores del sistema HTC Vive y se mueve libremente por el laboratorio hasta que se acerca al durómetro e inicia el ensayo de dureza. Una vez iniciado, aparecen instrucciones que indican al usuario el paso del ensayo que va a realizar y qué va a conseguir con ello. Al inicio de la aplicación aparece un texto con instrucciones de cómo manejar la aplicación, y ésta se puede parar en cualquier momento. Al final de la aplicación se da la opción de salir de la aplicación o bien reiniciarla.
- **Programación de la aplicación:** El laboratorio virtual se ha programado diferenciando dos partes. La primera parte, aquella en que se abre la aplicación y

el usuario puede moverse libremente por el escenario, no tiene más programación que la que incluye la plantilla de UE4 para juegos en primera persona con RVI y los blueprints para mostrar menús (widgets). La segunda parte, que es en la que se lleva a cabo el ensayo, es una secuencia de pasos que se reproducen cuando el usuario pulsar los controladores como se le pide en cada momento, además de algunos menús.

Se ha importado desde 3ds Max a UE4 el modelo de laboratorio y sus materiales integrándolo con el actor y sus controles que proporciona la plantilla de RVI de UE4. A partir de ahí se ha desarrollado todo el programa.

Las HTC Vive se integran en UE4 es a través de SteamVR, un sistema de realidad virtual desarrollado por Valve que soporta diferentes dispositivos.

Para conectar UE4 con SteamVR lo que hay que hacer es simplemente abrir SteamVR, conectar las gafas HTC Vive al PC y esperar a que sean detectadas por SteamVR. Cuando estén listas para usarse estarán encendidos los distintos íconos en SteamVR (Figura 10), y posteriormente se debe abrir la aplicación de Unreal Engine.



Figura 10. SteamVR

4.6. Presentación de la aplicación creada

El resultado final es una aplicación que permite al estudiante familiarizarse con el uso de un durómetro Rockwell antes de realizar prácticas en un laboratorio real.

El entorno creado simula de manera bastante realista un laboratorio del departamento de ciencia de los materiales como el que se podría encontrar en cualquier escuela de ingeniería (figura 67). De esta manera se pretende lograr que el estudiante perciba que el entorno en que va a realizar la simulación es el que esperaría en el caso

de estar frente a un durómetro real.



Figura 11. Vista general del laboratorio virtual.

En el laboratorio se han situado los elementos más comunes en uno de este tipo: mesa alargada y taburetes regulables en altura para los estudiantes, mesa y silla para el profesor, ordenador, proyector y pantalla de proyecciones, mesa para el durómetro, el propio durómetro y un armario para guardar material, además de la horquilla para seleccionar carga en el durómetro, los indentadores y las probetas de los materiales de los que se quiere medir la dureza.

Las dimensiones del durómetro se han estimado utilizando proporciones extraídas de las fotografías de un durómetro real. (Figuras 12, 13, 14 y 15).



Figura 12. Vista en perspectiva del durómetro real (izquierda) y modelado (derecha).



Figura 13. Vista frontal del durómetro real (izquierda) y modelado (derecha).

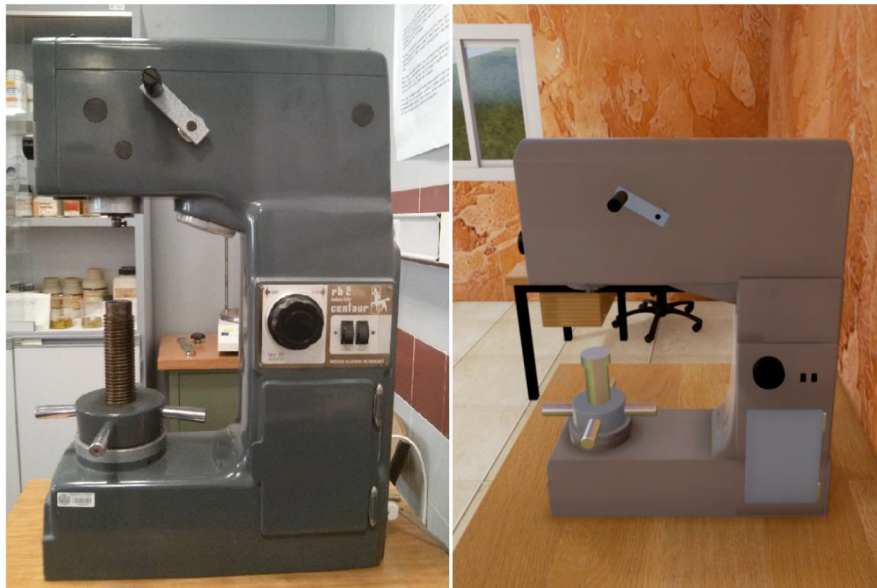


Figura 14. Vista lateral del durómetro real (izquierda) y modelado (derecha).



Figura 15. Horquilla de carga real (izquierda) y modelada (derecha).

Cuando se inicia la aplicación el alumno se encuentra en el centro del entorno, ve unas manos virtuales (Figura 11) y se puede mover caminando o mediante saltos. Luego el durómetro llama su atención y cuando llega a su lado se lanza el ensayo, interactuando con él y ejecutando los distintos pasos del mismo (Figura 16).



Figura 16. Solicitud de giro del volante.

Un ejercicio final pide al usuario realizar una lectura sobre un indicador que es muy similar al que verá en un durómetro real (Figura 17).



Figura 17. Ejercicio de selección de valor de dureza.

5. METODOLOGÍA DE USO EN LAS CLASES

La aplicación de Realidad virtual inmersiva desarrollada estaba pensada para ser utilizada en las clases prácticas de la asignatura “Ciencia de Materiales”, impartida conjuntamente en los Grados de Ingeniería de Materiales e Ingeniería Mecánica.

Como el trabajo necesario para crearla fue más laborioso de lo esperado, no se pudo emplear en las clases hasta el final del semestre cuando ya se había visto el tema de la dureza de materiales y su medición. Sin embargo, se probó con el grupo de Ingeniería de Materiales que tiene un número reducido de alumnos y se realizaron unas sencillas encuestas para obtener así su opinión en algunos conceptos de uso. Además, estas pruebas sirvieron para evaluar su funcionamiento, comprobar si se han alcanzado los objetivos y hacer las modificaciones necesarias.

La metodología utilizada en el aula consistió en aplicar la herramienta virtual después de una explicación teórica en la que se recordaba el concepto de dureza Rockwell y su medida. Se empleaban 10 minutos para realizar la prueba virtual de forma interactiva con varias medidas y así obtener una comprensión perfecta del manejo del durómetro. Es conveniente que cada estudiante lleve a cabo esta fase de manera individual, y de esta manera se den cuenta de todos los detalles del ensayo.

6. RESULTADOS

Las encuestas incluían las siguientes características: interactividad, facilidad de uso, realismo, similitud con un entorno de videojuego, motivación (por ser una herramienta intuitiva y de fácil comprensión) y calidad didáctica. La Figura 18 se obtuvo de la media aritmética de las puntuaciones de los estudiantes.



Figura 18. Resultado de la encuesta.

Tales resultados sirven para verificar la buena evaluación de la aplicación por parte del alumnado, ya que todas las características recibieron altas calificaciones (más de 9 sobre 10).

Por otro lado, la siguiente pregunta se incluyó en la encuesta: "*¿Le gustaría tener más clases con herramientas virtuales en otras asignaturas? Si la respuesta es sí, enumere las asignaturas*". En las respuestas de los estudiantes, se enumeraron casi todas las asignaturas de carácter experimental.

7. CONCLUSIONES

La aplicación de realidad virtual inmersiva presentada en este documento es una herramienta útil tanto para el estudiante de ingeniería, que al usarla se familiariza con el proceso de realizar un ensayo de dureza Rockwell antes de hacerlo en un laboratorio real, como para el profesor que la puede usar en sus clases magistrales como reemplazo de videos o diapositivas.

El diseño paso a paso es el más apropiado desde un punto de vista educativo en casos similares a los expuestos, es decir, en los procedimientos que consten de varias etapas.

8. REFERENCIAS

[1] Heradio, R., de la Torre, L., Galán, D., Cabrerizo, F.J., Herrera-Viedma, E., Dormido, S. 2016. Virtual and remote labs in education: a bibliometric analysis. *Computers & Education*, 98, 14–38.

[2] Vergara, D., Lorenzo, M., Rubio, M.P. 2016. On the use of virtual environments in engineering education. *International Journal of Quality Assurance in Engineering and Technology Education* 5(2), 30–41.

[3] García, J., Entrialgo, J. 2015. Using computer virtualization and software tools to implement a low cost laboratory for the teaching of storage area networks. *Computer Applications in Engineering Education*, 23, 715–723.

[4] Vergara, D., Rubio, M.P., Lorenzo, M. 2017. New approach for the teaching of concrete compression tests in large groups of engineering students. *Journal of*

Professional Issues in Engineering Education and Practice 143(2), paper 05016009.

[5] Boukerche, A., Al Hamidi, A., Pazzi, R., Ahmad, L. 2009. Architectural design for the 3D virtual radiology department using virtual reality technology. IEEE Workshop on Computational Intelligence in Virtual Environments, 45–52.

[6] Vergara, D., Rubio, M.P. 2015. The application of didactic virtual tools in the instruction of industrial radiography. Journal of Materials Education, 37(1-2), 17–26.

[7] Xie, Q, Tinker, R. 2006. Molecular dynamics simulations of chemical reactions for use in education. Journal of Chemical Education 83(1), 77–83.

[8] Dobrzański, L.A., Honysz, R. 2009. On the implementation of virtual machines in computer aided education. Journal of Materials Education, 31(1-2), 131–140.

[9] Wang, Ch. X., Zhao, Q., Sun, W., Wan, X., & Cui, Q. 2012. 3D Scene of virtual reality system design and research. Key Engineering Materials, 522, 761–768.

[10] Gian Carlo Valdizán Cassinelli, 2003. Realidad Virtual del Marco teórico de Manejo de nuevas tecnologías de información en la empresa privada: Desarrollo de proyectos en el área Gráfica de la empresa Simation S.A.C., pp. 22-23.

[11] Boletsis, C., 2017. The new era of virtual reality locomotion: a systematic literature review of techniques and a proposed typology. Multimodal Technologies Interact, 1, 24.

[12] Nguyen, M.; Tran, H.; Le, H., 2017. Exploration of the 3D world on the internet using commodity virtual reality devices. Multimodal Technol. Interact., 1, 15.

[13] Bhattacharjee, D.; Paul, A.; Kim, J.H.; Karthigaikumar, P., 2018. An immersive learning model using evolutionary learning. Comput. Electr. Eng., 65, pp. 236–49.

[14] de Freitas, S.; Rebolledo-Mendez, G.; Liarokapis, F.; Magoulas, G.; Poulouvasilis, A., 2010. Learning as immersive experiences: Using the four-dimensional framework for designing and evaluating immersive learning experiences in a virtual world. British J. Educ. Tech., 41, pp. 69–85.

[15] Lee, E.A.L.; Wong, K.W., 2014. Learning with desktop virtual reality: Low spatial ability learners are more positively affected. Comput. Educ., 79, pp. 49–58.

[16] Parong, J.; Mayer, R.E., 2018. Learning science in immersive virtual reality. J. Educ. Psychol., pp. 1–13

[29] Gao, Z.; Liu, S.; Ji, M.; Liang, L., 2011. Virtual hydraulic experiments in

courseware: 2D virtual circuits and 3D virtual equipments. *Comput. Appl. Eng. Educ.*, 19, pp. 315–326.

[30] Hashemipour, M.; Manesh, H.F.; Bal, M., 2011. A modular virtual reality system for engineering laboratory education. *Comput. Appl. Eng. Educ.*, 19, pp. 305–314.

[31] Xiang, S.; Wang, L.Ch., 2017. VGLS: a virtual geophysical laboratory system based on C# and Viustools and its application for geophysical education. *Comput. Appl. Eng. Educ.*

[32] Sampaio, A.Z., 2012. Virtual reality technology applied in teaching and research in civil engineering education. *J. Inf. Tech. Appl. Educ.*, 1, pp. 152–163.

[33] Crespo, R.; García, R.; Quiroz, S., 2015. Virtual reality application for simulation and off-line programming of the Mitsubishi move master RV-M1 robot integrated with the oculus rift to improve students training. *Proc. Comput. Sci.*, 75, pp. 107–112.

[34] Górski, F.; Buń, P.; Wichniarek, R.; Zawadzki, P.; Hamrol, A., 2015. Immersive city bus configuration system for marketing and sales education. *Proc. Comput. Sci.*, 75, pp. 137–146.

[35] Arnay, R.; Hernández-Aceituno, J.; González, E.; Acosta, L., 2017. Teaching kinematics with interactive schematics and 3D models. *Comput. Appl. Eng. Educ.*

[36] Chou, Ch.; Hsu, H.-L.; Yao, Y.-S., 1997. Construction of a virtual reality learning environment for teaching structural analysis. *Comput. Appl. Eng. Educ.*, 5, pp. 223–230.

[37] De Sousa, M.P.A.; Filho, M.R.; Nunes, M.V.A.; Lopes, A.d.C., 2012. A 3D learning tool for a hydroelectric unit. *Comput. Appl. Eng. Educ.*, 20, pp. 269–279.

[38] Villagrasa, S.; Fonseca, D.; Durán, J., 2014. Teaching case: applying gamification techniques and virtual reality for learning building engineering 3D arts. In *Proceedings of the Second International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality, Salamanca (Spain)*; ACM: New York, USA; pp. 171–177.

[39] Pantelidis, V.S., 1997. Virtual reality and engineering education. *Comput. Appl. Eng. Educ.*, 5, pp. 3–12.

[40] Vergara, D.; Rubio, M.P.; Lorenzo, M., 2017. On the design of virtual reality learning environments in engineering. *Multimodal Tech. Interact.*, 1, 11

Fdo. MANUEL PABLO RUBIO CAVERO
Profesor Coordinador del Proyecto
Zamora, 30 de Junio de 2019