

SISTEMA EXPERTO PARA APOYAR EL APRENDIZAJE EN EL USO DE MÁQUINAS-HERRAMIENTAS PARA “SISTEMAS INTEGRADOS DE MANUFACTURA”

Alonso Mena Chacón, PhD.
Escuela de Ingeniería,
ITESM Campus Chihuahua
alonso.mena@itesm.mx

Ing. Octavio Lasso
Escuela de Ingeniería
ITESM Campus Chihuahua
Octavio.lasso@itesm.mx

Abstract

Uno de los retos que nos plantea la educación en el siglo XXI es balancear la necesidad de enseñar los contenidos de un curso en un formato tradicional, es decir basado en la exposición del profesor, con la necesidad de diseñar cursos con métodos de aprendizaje activo. Este artículo describe el diseño, implementación y mantenimiento de un “Sistema Experto” para la enseñanza de programación de control numérico (CNC) y el manejo de máquinas-herramientas automáticas de 2 y 3 ejes en la clase de Sistemas Integrados de Manufactura. Para este proyecto se diseñó e implementó una serie de herramientas basadas en tutoriales, explicación de procesos a través de videos, y simuladores con el objetivo de que instructores y alumnos tengan una plataforma para documentar la experiencia al trabajar con equipos CNC. El “Sistema Experto” se ha convertido en una plataforma de conocimiento a través de la cual los alumnos pueden consultar aspectos de programación, solución de problemas, y es un sistema abierto para que la experiencia adquirida cada semestre esté disponible para los siguientes usuarios.

Keywords: Sistema experto, control numérico, innovación educativa, NOVUS

1 Introducción

Un Sistema Experto (SE) es una aplicación dentro de las tecnologías de información (TI) que puede solucionar un conjunto de problemas que requieren un conocimiento firme sobre un determinado tema; se desarrollan sobre la base de información que poseen uno o más expertos en un área específica. Los SE forman parte de lo que se conoce como “Inteligencia Artificial (IA)”, donde el poder de la resolución de un problema dado, por un sistema computacional, en realidad viene del dominio que tiene un experto en un tema determinado (Todd, 1992).

A partir de esta definición se propuso generar un “Sistema Experto” para resolver los problemas que cada semestre se presentan al utilizar máquinas-herramientas de control numérico (CNC). El SE nos permite poder solucionar un problema debido a que se cuenta con un sistema de información donde los usuarios cuentan con la información de los expertos para resolverlo. Para este proyecto se consideran a los *expertos* como los instructores del curso y encargados de laboratorio, así como los mismos alumnos de la clase que después de terminar un proceso para hacer una práctica de control numérico adquieren la experiencia para trabajar con este tipo de equipos.

De la misma forma que los procesos de manufactura actuales requieren tiempos de ciclo más cortos (KOSTAL, 2012), en la solución de problemas para procesos de manufactura académicos también es necesario realizar las innovaciones necesarias para tener procesos académicos eficientes. Este proyecto está encaminado a hacer más eficientes los procesos de entrenamiento, que es uno de los factores claves para lograr una mejor productividad (Cameron & Howell, 1992).

2 Diseño e implementación

2.1 Diseño

El diseño presentado ha tomado algunas ideas de proyectos llevados a cabo para laboratorios virtuales, por ejemplo para la configuración y programación de controladores lógicos programables (Sun, 2011). En la primer fase se seleccionó el sistema “Google +” como la plataforma para ir desarrollando el SE, que consiste en tres tipos de documentos:

1) Tutoriales para el uso de software avanzado de control numérico: Se desarrollaron tutoriales para mostrar al alumno los procedimientos básicos del software NX para poder realizar un proceso de maquinado para torneado.



Alberto Venzor Mendoza OWNER
Discussion - Feb 9, 2014

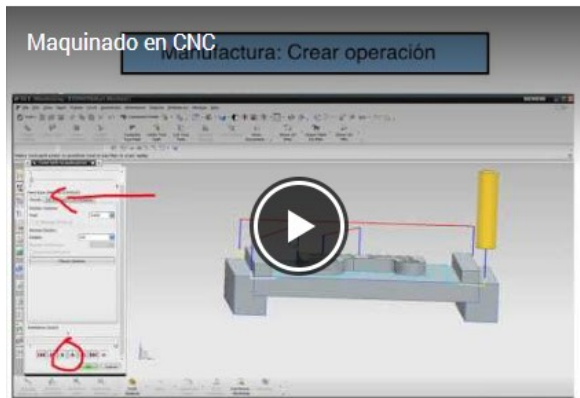


Figura 1. Tutorial de NX para maquinados en CNC.

2) “Clases virtuales” para la explicación de procesos de programación: Se utilizó la herramienta *educreations* para explicar el proceso de programar ciclos horizontales y verticales en un torneado.



Alonso Mena
Discussion - Jan 24, 2014

[Torno G71 - Educreations](#)
educreations.com

[s://www.educreations.com/lesson/embed/9919157/](https://www.educreations.com/lesson/embed/9919157/)

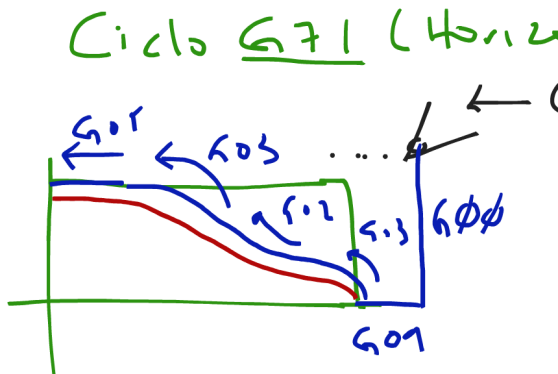


Figura 2. “Clases virtuales” para programación de ciclos en torno.

3) Videos demostrativos para el adecuado uso de máquinas-herramientas: Se desarrollaron videos para que el alumno conozca los procedimientos correctos para encender y apagar la máquina-herramienta, así como para identificar los principales puntos de inspección y asegurarse que puede utilizar el equipo en una forma adecuada. A través del mismo tipo de herramienta se explicó la forma de resolver las principales alarmas que aparecen al utilizar los equipos.



Alberto Venzor Mendoza OWNER
Discussion - Jan 28, 2014



Figura 3. Videos demostrativos para el uso de máquinas CNC.

2.2 Implementación

Uno de los problemas principales que se tienen en el área de educación es lo fácil que los alumnos pueden copiar cualquier problema o diseño encontrado en la red de internet (Tarawneh, 2011). En este proyecto se utiliza la consulta de material para el desarrollo de tutoriales, por lo que se aprovecha el conocimiento existente para que el alumno desarrolle nuevos diseños. La clave en este proceso es que el proyecto que tiene que realizar un alumno sea original, de tal forma que la consulta de material en cualquier medio deja de ser una amenaza, para convertirse en parte del proceso de enseñanza-aprendizaje. La metodología propuesta para trabajar con el SE se basa en los siguientes puntos:

- El diseño y maquinado de un prototipo forma parte del 20% de su evaluación final.
- Se asigna un prototipo para desarrollar en el torno y centro de maquinado. El prototipo a desarrollar es diseñado por el instructor, de tal forma que no exista una solución al problema que pueda ser encontrada en la red.
- Los problemas asignados por el instructor pueden ser tomados de algún libro de texto, pero se buscará hacerles algún cambio en el diseño.
- El alumno debe empezar a trabajar en los planos (CAD), código de control numérico, para lo cual se debe apoyar en algunos de los materiales identificados en la tabla 1.
- Una vez que el alumno tiene un código propuesto, debe acudir con el instructor del curso a verificarlo y recabar la firma de autorización.

- Antes de acudir al laboratorio a utilizar la máquina-herramienta, el alumno debe revisar algunos materiales identificados en la tabla 1 y hacer los exámenes de comprensión diseñados.
- Al acudir al laboratorio, el encargado de la máquina-herramienta realizará una evaluación *presencial* al alumno o equipo, es decir, evaluará que el estudiante sabe realizar los procedimientos básicos para utilizar la máquina-herramienta en condiciones seguras.
- Si el alumno no demuestra el conocimiento previo que requiere para utilizar la máquina-herramienta, se regresa a revisar los materiales correspondientes.
- Una vez que el alumno demuestra tener un conocimiento previo a la máquina que va a utilizar, el instructor le permite el uso de la misma.
- Durante la ejecución del programa, los alumnos deben ser supervisados por el instructor encargado del laboratorio, de tal forma que cualquier problema con la ejecución de su código, deberán buscar una solución en los materiales indicados en la tabla 1. En caso de que no exista una indicación para resolver el problema se acudirá con el instructor a cargo.
- Una vez que el alumno termina su sesión, aun y cuando no tenga un resultado final, debe llenar una bitácora de trabajo indicando los problemas que se presentaron, y si la solución fue encontrada en algún material de la tabla 1.
- En la bitácora de trabajo cada alumno deberá firmar indicando las horas que estuvo trabajando en la máquina-herramienta, al final de la sesión deberá obtener una firma del instructor a cargo del equipo en ese momento.
- La evaluación de la práctica es la misma para todos los integrantes del equipo, siempre y cuando cada uno demuestre haber acudido al menos el 70% del tiempo que se requirió estar en el laboratorio desarrollando la práctica. Si un alumno no cae en este apartado, no se le toma en cuenta la práctica para efectos de la evaluación.

3 Incidentes críticos

El principal problema que se detectó con la metodología propuesta fue que no se diseñó un mecanismo de control para asegurar el cumplimiento

de la revisión de materiales previos a la utilización de la máquina-herramienta, y al momento de negarle a los estudiantes su utilización se generó una frustración en los alumnos. En otros casos el estudiante argumentó que no tenía la información de los requisitos para poder utilizar el equipo. Parte de la problemática detectada es que la plataforma utilizada para la “base de conocimiento”: Google +, no nos permite estructurar u organizar la información de una forma adecuada, por lo que es difícil que un alumno determine con exactitud cuáles son los materiales que debe utilizar.

En base a los resultados obtenidos en el semestre enero-mayo 2014, se está trabajando en el diseño de un curso mediante la plataforma *blendspace*. Esta plataforma nos permite diseñar, de una forma más eficiente y estructurada, el orden en el que los estudiantes deben revisar el material y se pueden incluir exámenes para asegurar que se ha visto y comprendido el material indicado.

En la siguiente figura podemos revisar la pantalla inicial:

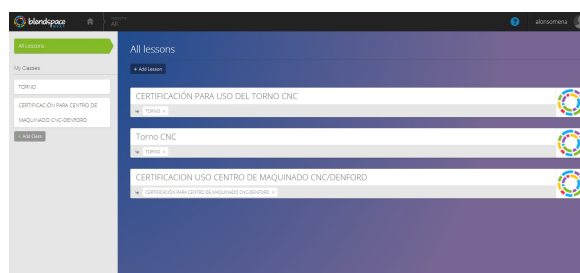


Figura 4. Plataforma “blendspace”.

Una vez dentro de la plataforma podemos identificar varias “clases” y el alumno selecciona la que sea de su interés. En la siguiente figura podemos revisar el contenido de la “clase”: “CERTIFICACIÓN PARA USO DEL TORNO CNC”

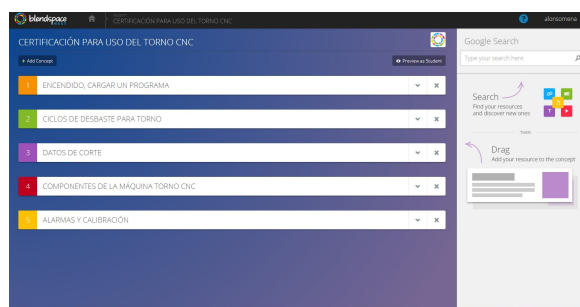


Figura 5. Contenido de “Certificación para uso de torno”

Table 1: Elementos incluidos en Google+.

Título	Tipo	Descripción	Author (Owner)*
Torno G71	Presentación	Programación ciclo horizontal	Alonso Mena
Torno ciclo vertical	Presentación	Programación ciclo vertical	Alonso Mena
Prender torno	Video	Proceso para encender el torno	Alberto Venzor
Calibración torno	Video	Calibración torno CNC	Alberto Venzor
Programas	Video	Borrar y enviar programas al torno CNC	Alberto Venzor
Calibración C Maq	Video	Calibración de los ejes del centro de maquinado	Alberto Venzor
Herramientas C Maq	Video	Cambio de herramientas centro de maquinado	Alberto Venzor
NX8	Tutorial	Fabricación de código CNC con NX8.0	Alberto Venzor
Maquinado CNC	Tutorial	Crear operaciones en NX8.0	Alberto Venzor
CAM	Presentación	Desarrollo y aplicación CAM	Alberto Venzor
Alarma “overtravel”	Video	Eliminación de alarma	Leonel Terán
Alamar 510	Video	Eliminación de alarma	Federico Muruato
Códigos G71 y G72	Presentación	Explicación de códigos G71 y G72	Julio Márquez
Alarmar 1000, 1004	Video	Eliminación de alarmas	Jorge Montes
Velocidad de giro	Presentación	Cálculo de velocidad de giro	Roberto Baca
PLC	Video	Uso y configuración de PLC	Alonso Mena
Alarma 87	Video	Eliminación de alarma	Miguel Olivas
PLC	Tutorial	Funcionamiento del PLC	Alberto Venzor
Teclado Torno	Video	Teclado operacional del torno	Sergio Ramos
PLC	Presentación	Cómo hacer un semáforo	Julio Márquez
PLC	Presentación	Problema “llenado de tanque”	Sergio Ramos
Ciclos	Video	Explicación ciclos cerrado y abierto	Jorge Mendoza
Códigos G43 y 92	Presentación	Explicación de códigos G43 y G92	Carlos Parga
Subprogramas	Video	Explicación de subprogramas	Ana Luisa Araiza
Robot Fanuc	Video	Encender el robot Fanuc	Leonel Terán
Robot Fanuc	Video	Introducción al robot Fanuc	Leonel Terán
Robot Fanuc	Video	Teach Pendant	Leonel Terán
Robot Fanuc	Video	Programación de rutinas	Leonel Terán
Simulador	Video	Uso de simulador Fanuc CNC	Irvin Ruiz

*Autor (Owner) únicamente se refiere a la persona que puso disponible el material en Google+. Los autores del material están indicados dentro de cada una de las herramientas.

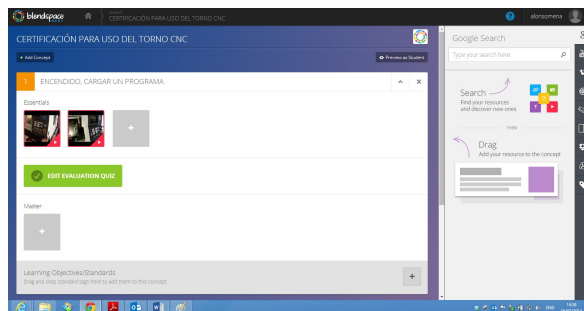


Figura 6. Material dentro del módulo “Encendido...”.

Dentro del primer módulo: “Encendido, cargar un programa” están las ligas a los videos, tutoriales y/o presentaciones que debe revisar el estudiante y su equipo. Una vez concluida la revisión de materiales existe un “examen rápido”, es necesario que el alumno acredite esta evaluación para permitirle continuar revisando el material siguiente, como se puede observar en la figura 6.

3.1 Sistema de control

Una de las limitantes que se han observado a lo largo de los semestres, en clases donde se requiere un uso intensivo de laboratorios, es la discrepancia que existe entre las evaluaciones de las prácticas y los exámenes aplicados en clase. Parece evidente que estas discrepancias se deben a que no todos los miembros de un equipo participan activamente en la solución del problema planteado.

Esta situación se ha resuelto parcialmente con esquemas de auto y co-evaluación (Perera, 2011), donde al alumno se le pide hacer una evaluación crítica de su trabajo y de sus compañeros de equipo. Estos esquemas han dado buenos resultados para compensar las calificaciones de los alumnos en un equipo pero no resuelve el problema del bajo aprovechamiento de aquellos que no participan activamente en la solución de una práctica de laboratorio.

Ante esta situación se optó por diseñar e implementar un sistema de control que, por lo menos, garantice que todos los alumnos de un equipo están conscientes del

trabajo realizado y tienen que reportar formatos con firmas que avalan el involucramiento de cada miembro del equipo en la práctica indicada. De tal forma que para el punto indicado en la metodología:

- Una vez que el alumno tiene un código propuesto, debe acudir con el instructor del curso a verificarlo y recabar la firma de autorización.

Se diseñó un formato en donde cada uno de los alumnos debe plasmar su firma antes de acudir a la revisión del código. A diferencia de los reportes tradicionales, dónde un alumno se encarga de poner los nombres y matrículas de todo el equipo, en este caso el alumno debe firmar la hoja de autorización y por lo menos darse por enterado de lo que está sucediendo con su práctica de laboratorio.

ANEXO I
FORMATO PARA AUTORIZAR EL USO DE MÁQUINAS CNC

MAQUINA A UTILIZAR: CURSO:

EQUIPO:			
ALUMNO	MATRÍCULA	ESPECIAL	
ALUMNO	MATRÍCULA		
ALUMNO	MATRÍCULA		
ALUMNO	MATRÍCULA		

PROBLEMAS / TEMAS / PREGUNTAS / CONSULTAS:

ESTADÍSTICA	
LOGÍSTICA	

TABLA DE ÁREAS TRABAJADAS			
TEMA	TÍTULO	ÁREAS DE TRABAJO	PROF. CEEITE

PUNTOS A VERIFICAR:

INCIDENTES / TEMAS	REVISADO/ENVIADO	VALORES DE CONTROLADO
CELEBRACIÓN DE LA PRÁCTICA EN EL SALÓN	SI	SEGUN EL TAMAÑO DE LA PRUEBA
CLASIFICACIONES EN LOS TRABAJOS	SI	NO APLICABLE
PUNTO DE ACERCAMIENTO Y FUERA DE LOS CÍRCULOS DE SEGURIDAD	SI	NO APLICABLE
ÁREAS DE TRABAJO QUE SE DEBE REALIZAR EN EL EQUIPAMIENTO	SI	NO APLICABLE
COORDINACIÓN EN EL MANEJO DE LA MÁQUINA	SI	NO APLICABLE
SE GUARDARON LAS HERRAMIENTAS Y EL ESTADO DE LA MÁQUINA	SI	NO APLICABLE
PRESENCIA DEL EQUIPO EN LA SESIÓN DE PRÁCTICA	SI	NO APLICABLE
PRESENCIA DEL EQUIPO EN LA SESIÓN DE PRÁCTICA	SI	NO APLICABLE
PRESENCIA DEL EQUIPO EN LA SESIÓN DE PRÁCTICA	SI	NO APLICABLE
PRESENCIA DEL EQUIPO EN LA SESIÓN DE PRÁCTICA	SI	NO APLICABLE
PRESENCIA DEL EQUIPO EN LA SESIÓN DE PRÁCTICA	SI	NO APLICABLE
PRESENCIA DEL EQUIPO EN LA SESIÓN DE PRÁCTICA	SI	NO APLICABLE
PRESENCIA DEL EQUIPO EN LA SESIÓN DE PRÁCTICA	SI	NO APLICABLE
PRESENCIA DEL EQUIPO EN LA SESIÓN DE PRÁCTICA	SI	NO APLICABLE

MAQUINA - COMPROBAR QUE SE TRATA DEL USO DEL EQUIPAMIENTO Y PRESEN VARIAS OTRAS:

ALUMNO	
ESPECIAL	
INSTRUCTOR	

TABLA DE VELOCIDADES SUJETOS:

INSTRUMENTACIÓN	ALUMNO	ESPECIAL
ALUMNO	ESPECIAL	ESPECIAL
ESPECIAL	ESPECIAL	ESPECIAL

OPERATIVO DE CNC:

FORMATO DE FIRMA:

Figura 7. Formato de autorización de prueba de código CNC

Adicional al formato anterior, se diseñó una bitácora de “reporte de trabajo realizado”.

ANEXO II
BITÁCORA DE USO DE MÁQUINAS-HERRAMIENTAS

MAQUINA UTILIZADA: SESIÓN #

EQUIPO:				PROBETA	HRS/LAB	REVISÓ:
ALUMNO	MATRÍCULA					
ALUMNO	MATRÍCULA					
ALUMNO	MATRÍCULA					
ALUMNO	MATRÍCULA					
ALUMNO	MATRÍCULA					
						FIRMA DEL LABORATORISTA

REPORTE DE INCIDENTES:

NOTA: REPORTE EL INCIDENTE DEL LADO IZQUIERDO Y LA FORMA CÓMO SOLUCIONÓ EL INCIDENTE DEL LADO DERECHO, SI FUE POSIBLE DEBIDO A UN TUTORIAL, VIDEO, Y/O PRESENTACIÓN INDICAR LA IDENTIFICACIÓN DEL MATERIAL.

En caso de que no se haya podido resolver, indicar PENDIENTE

INCIDENTES:	SOLUCIÓN:

Figura 8. Formato de bitácora “reporte de trabajo realizado”.

En esta bitácora el alumno debe indicar el número de horas que estuvo trabajando en el laboratorio en cada sesión pero, a diferencia del formato anterior, en este caso el responsable del laboratorio es quien debe firmar avalando la información presentada por los alumnos.

Otro objetivo, además del control de los alumnos involucrados en la solución del problema planteado, es que nos ayude a determinar los tipos de incidentes

más comunes que se presentan, los materiales diseñados que más utilidad han tenido en la solución de problemas y las áreas de oportunidad para seguir aumentando la base de conocimiento con nuevos problemas que se pueden ir presentando cada semestre.

En el reporte final de la práctica de laboratorio, el alumno debe anexar los formatos anteriores. En el caso de la bitácora, se debe incluir por cada una de las sesiones ininterrumpidas de trabajo que haya realizado el alumno. Se ha determinado, en base a la experiencia previa, que una práctica de maquinado en el torno puede llevar (en promedio) 3 horas. Si el equipo terminó la práctica en una sola sesión requiere reportar una bitácora. En otro caso, si a un equipo le tomó 5 horas terminar su práctica, en 5 sesiones de una hora cada una, deberá entregar 5 bitácoras con las firmas correspondientes. Únicamente a los alumnos que reportan una asistencia de al menos el 70% de la horas indicadas se les toma en cuenta la práctica para efectos de evaluación.

3 Conclusiones

Durante el semestre enero-mayo 2014 se implementó el uso de las herramientas que forman parte del tópico de control numérico en la clase SIM; conforme los alumnos fueron generando sus prácticas se les pidió generar nuevas aplicaciones con aquellos elementos que les impidió realizar una práctica de CNC de una forma eficiente.

También se empezó a ampliar la “base de conocimiento” para incluir otros procesos de la misma clase como: robótica industrial y programación de PLC. En la tabla 1 aparecen las herramientas disponibles hasta julio 2014 en el espacio asignado para este proyecto (comunidad “SIM” de Google+).

Table 2: Evaluación del “Sistema Experto”

Elemento de evaluación	Definición	Discusión en este proyecto
Problem area	"... solve problems efficiently and effectively in a narrow problem area."	El problema específico es “programación y manejo de equipo CNC”. Los materiales desarrollados tienen como objetivo “resolver problemas en forma eficiente”.
	"... typically, pertains to problems that can be symbolically represented"	Algunos problemas se representan a través del uso de códigos G, M y alarmas específicas.
Problem difficulty	"... apply expert knowledge to difficult real world problems"	Aplica el conocimiento de los expertos (instructores y alumnos) en la solución de problemas de diseño “reales”.
	"... solve problems that are difficult enough to require significant human expertise for their solution"	Los problemas identificados, por su dificultad técnica, requieren un experto en sistemas CNC y máquinas-herramientas para su solución.
	"... address problems normally thought to require human specialists for their solution"	Los problemas presentados requieren especialistas en sistemas CNC para su solución.
Performance requirement	"the ability to perform at the level of an expert ..."	Resolver problemas específicos en códigos CNC requiere un “nivel de experto”
	"... programs that mimic the advice-giving capabilities of human experts."	Los “consejos” o “sugerencias” que normalmente dan los instructores a los alumnos en procesos CNC se han integrado en este proyecto.
	"... matches a competent level of human expertise in a particular field."	El desarrollo de una clase de este tipo requiere experiencia en el campo específico de los Sistemas CNC.
	"... allows a user to access this expertise in a way similar to that in which he might consult a human expert, with a similar result."	El SE permite a los usuarios tener acceso a la experiencia en programación y manejo de sistemas CNC de una forma similar a la consulta que podría hacer con un “experto humano”
Explain reasoning	"... the capability of the system, on demand, to justify its own line of reasoning in a manner directly intelligible to the enquirer."	El SE tendrá justificación en la medida que los usuarios demanden el conocimiento disponible, de esta forma el SE tendrá que estar en constante mantenimiento.
	"incorporation of explanation processes ..."	En varios materiales del SE se incluye un proceso de explicación de códigos de programación y rutinas relacionadas.

Debido a que este proyecto no incluye la programación en un algoritmo específico, o el uso comercial de un software para desarrollo de un “Sistema Experto”, es conviene discutir si el proyecto presentado está dentro de la categoría de un SE. Tomando como base el documento “INTRODUCTION TO ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND EXPERT SYSTEMS” (Carol E. Brown, 1995), se identificaron cinco áreas que, según los expertos citados en el texto, definen a un SE. En la tabla 2 se muestra la definición de estos cinco elementos y la aplicación que tienen en el proyecto desarrollado. Como podemos analizar en la tabla anterior, el proyecto presentado utiliza las definiciones de un SE para implementarlo en el mejor

aprovechamiento académico de los alumnos al tener este tipo de entrenamiento con máquinas CNC y empezar a hacerlo extensivo a otras áreas de sistemas integrados de manufactura.

La justificación para utilizar un SE en este proyecto, como apunta el Dr. Tarek Helmy (El-Basuny), se basa principalmente en:

- Libera al experto de explicar tareas repetitivas.
- Provee al usuario inexperto con consejos específicos de un experto.
- Se documenta el conocimiento particular que se va generando con la práctica y que no aparece en otra parte (como en manuales técnicos y/o libros de texto).
- Apoya en el entrenamiento de nuevos usuarios.
- Aumenta la productividad del laboratorio al disminuir el tiempo que el usuario debe permanecer en el equipo para aprender rutinas sencillas (ej: encendido, apagado, enviar programas)
- El conocimiento está disponible en forma constante y se puede acceder en cualquier parte a través de una conexión de internet.

La plataforma oficial que utiliza el Tecnológico de Monterrey, para entrega de contenidos académicos, es *Blackboard*. *Blendspace* es una plataforma nueva que no se ha utilizado de forma masiva, por lo que es necesario realizar una prueba piloto en el semestre agosto-diciembre 2014 para poder evaluar el comportamiento del sistema con un grupo de alumnos antes de sugerir su utilización como una plataforma alternativa. También es conveniente evaluar otras plataformas para este propósito como “*course sites*” (*Blackboard*) y “*sites*” (*Google*).

A diferencia de los sistemas de automatización integrados, en donde se ha logrado a través de la tecnología integrar diferentes tipos de sistemas; un medio ambiente de información de conocimiento sobre estos sistemas no existe o son escasos (Robillard, 2010). Este proyecto intenta crear un sistema de transferencia del conocimiento a partir de la experiencia de los propios usuarios. En los laboratorios que tenemos existe una importante inversión en máquinas-herramientas y dispositivos de integración (como *robots*, *conveyors*, *plc's*) pero no existe un sistema de información integrado que nos permita utilizar de una forma eficiente dichos equipos y que permita transferir el conocimiento que se va generando al utilizarlos.

4 Acknowledgements

Este proyecto fue apoyado por la iniciativa NOVUS 2013 del Tecnológico de Monterrey.

5 References

- Cameron, C., & Howell, C. M. (1992). Closing the Gaps in Manufacturing Education. *Manufacturing Systems*, 10(8), 24.
- Carol E. Brown, D. E. (1995). *INTRODUCTION TO ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND EXPERT SYSTEMS*. Retrieved Mayo 14, 2014, from <https://msbfile03.usc.edu/digitalmeasures/oleary/intellcont/Introduction%20to%20AI%20and%20ES-1.pdf>
- El-Basuny, D. H. (n.d.). *Principles of Artificial Intelligent*. Retrieved 2014, from http://opencourseware.kfupm.edu.sa/colleges/ccse/ics/ics381/files/2_Lectures%2033-35-Expert%20Systems-Ch.16.pdf
- KOSTAL, P. (2012). LAYOUT DESIGN OF FLEXIBLE MANUFACTURING SYSTEM. *ACTA TECHNICA CORVINIENSIS – Bulletin of Engineering*.
- Perera, A. G. (2011, Enero-Abril). Co-assessment as a complementary alternative to learning assessment. Analysis and reflection in university classrooms. *Revista de Educación*, 749-764.
- Robillard, C. (2010). Developing an Integrated, Collaborative Engineering (ICE). *Proceedings of the 2010 Industrial Engineering Research Conference*.
- Sun, A. Y. (2011). AFFORDABLE INTEGRATION AND ASSESSMENT OF HANDS-ON LABS, VIRTUAL LEARNING, AND ENGINEERING MANAGEMENT IN PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER (PLC) EDUCATION. *Journal of Applications and Practices in Engineering Education*, 43-53.
- Tarawneh, C. M. (2011). AN EFFECTIVE HOMEWORK METHODOLOGY. *Journal of Applications and Practices in Engineering Education*, 54-65.
- Todd, B. S. (1992, February). *AN INTRODUCTION TO EXPERT SYSTEMS*. (O. U. Laboratory, Ed.) Retrieved Mayo 14, 2014, from <http://www.cs.ox.ac.uk/files/3425/PRG95.pdf>

ⁱ Es posible dar acceso a la plataforma SIM de Google+ a cualquier lector interesado, para lo cual se debe enviar un correo a: Alberto.venzor@itesm.mx