

## VIRTUALIZACIÓN DE ASIGNATURA INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO EN CATEGORÍA AVANZADA, UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE

Roberto Ortega, Universidad de Santiago de Chile, [roberto.ortega@usach.cl](mailto:roberto.ortega@usach.cl)

Héctor Reyes, Universidad de Santiago de Chile, [hector.reyes.m@usach.cl](mailto:hector.reyes.m@usach.cl)

Miguel Peña, Universidad de Santiago de Chile, [miguel.pena@usach.cl](mailto:miguel.pena@usach.cl)

Felipe Aguilera, Universidad de Santiago de Chile, [felipe.aguilera.e@usach.cl](mailto:felipe.aguilera.e@usach.cl)

### RESUMEN

A partir de la crisis sanitaria producto del COVID-19, varias asignaturas dentro del plan de carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Santiago de Chile cambiaron su modalidad al método e-learning, utilizando un campus virtual creado a través de Moodle. Junto con ello, la implementación de actividades programadas, clases virtuales y respectiva grabación de esta misma, así como trabajo asincrónico promueven el aprendizaje autónomo y una alternativa viable hacia una nueva forma de enseñanza. Para el caso concreto de la asignatura “Ingeniería en Mantenimiento”, el propósito de la implementación se sustenta en la necesidad de emular procesos de mantenimiento reales de la industria, desarrollar la capacidad técnica y analítica del alumnado y facilitar la enseñanza utilizando los programas de simulación que permitirán procesar la información de mantenimiento que cada día generan los activos físicos de las empresas. En vista del uso de software como principal fuente de evaluación y ante una modalidad virtual más presente que nunca, la idea de este proyecto es un acercamiento concreto hacia la futura inserción de Inteligencia Artificial (IA) en una plataforma ya desarrollada, incorporando algoritmos supervisados o semi-supervisados para la gestión de información relacionada a las y los estudiantes del curso.

**Palabras claves:** *virtualización, mantenimiento, simulación, educación virtual, confiabilidad.*

### INTRODUCCIÓN

Las carreras de Ingeniería de Ejecución y Civil mecánica del DIMEC (Departamento de Ingeniería Mecánica) de la Universidad de Santiago cuentan con una malla curricular con una brecha de conocimiento técnico, asociada a la realidad laboral del área de la confiabilidad y mantenimiento, esto quiere decir que las horas dedicadas a esta área es insuficiente a lo que se requiere con respecto a la industria. La asignatura se ha adaptado al uso de Moodle en un campus virtual, los últimos semestres dictados en pandemia (2020 hasta el final del 2021), actualmente el curso se dicta presencial con trabajo en la plataforma, dedicándose horas pedagógicas a la enseñanza sincrónica y horas pedagógicas a la actividad asincrónica (Moodle, foros, actividades relacionadas con el uso de las TIC). Las actividades propuestas, pretenden apoyar el desarrollo de los módulos mediante la aplicación del contenido en tareas prácticas, de investigación y el uso de softwares. Esto permite ampliar las horas asincrónicas dedicadas, significando un desarrollo práctico y representativo del mantenimiento desarrollado en la industria. Además, se fomenta la retroalimentación entre estudiantes con participación en foros, simulando equipos de trabajo en donde los conocimientos de los integrantes se pueden complementar y potenciar entre sí. Los estudios analizados han demostrado que la formación de profesionales ingenieros concuerdan en una experiencia limitada en el pensamiento crítico y habilidades de análisis.

Nicolai y Ferguson (Martín Erro, et al., 2016) advierten que las estrategias de aprendizaje de los programas de ingeniería conducen a los estudiantes a carecer de estas habilidades necesarias para identificar las necesidades, problemas reales y emitir juicios críticos en su rol ocupacional futuro. Adicionalmente, Cropley (Martín Erro, et al., 2016) añade que esta mentalidad reduccionista y analítica prevaleciente impulsa la educación de la ingeniería, resultando en el programa estructuras que excluyen el pensamiento sintético y la creatividad. Por estas razones, aplicar actividades, tanto formativas como evaluativas, en que los estudiantes deban investigar y proponer soluciones a situaciones reales permitirá que puedan un pensamiento crítico pudiendo visualizar distintos escenarios.

En este ambiente educativo, actualmente, se utilizan como apoyo a los módulos de trabajo los siguientes programas en versiones de prueba o de licencia libre: CPN Tools, Minitab, Bizagi, Excel. Estos son considerados para el desarrollo de las actividades prácticas y ejercicios del programa. Sin embargo, los módulos tratados correspondientes a diagrama de bloques de confiabilidad y árboles de falla persisten sin actividades planificadas y programas de modelación y simulación asociados.

Según Winfrid Schneeweiss (1999), *“el método de árbol de falla (FT) es uno de los más importantes métodos de tecnología de confiabilidad/seguridad. El FT muestra cual combinación de fallas significan la falla del sistema”*. Por otro lado, los diagramas de bloques nos permiten modelar las relaciones de fallos de sistemas complejos y sus componentes, utilizándose para análisis de confiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y seguridad de muchos sistemas de ingeniería (Hasan, et al., 2015). Ambas son herramientas que pueden conducir a resultados similares, pero permiten visualizar de manera diferente las posibles problemáticas de sistemas complejos utilizados en la industria.

La necesidad de diagnóstico crítico de sistemas complejos en la asignatura es motivo de reformular actividades que implícitamente promuevan en el estudiante la habilidad de innovación y resolución creativa de problemas, enseñando la mayor cantidad de técnicas y herramientas para abordar futuros problemas técnicos, a través de la implementación de problemas abiertos (sin solución inicialmente), dar flexibilidad, enfoques no estructurados y no lineales (Universidad de Santiago de Chile, 2021). Esto generaría un valor extra en los futuros Ingenieros egresados del DIMEC, quienes tendrían mejores posibilidades de desenvolverse en el mundo laboral al tener un mayor número de herramientas y habilidades.

## DESARROLLO

Para comenzar se debe definir que es un EVA, ya que es un concepto fundamental para este proyecto de innovación docente. Este concepto hace alusión a un Entorno Virtual de Aprendizaje, y estos son un espacio educativo disponible en la web, los cuales tienen un conjunto de herramientas informáticas que hacen posible la interacción académica de modo que los estudiantes puedan realizar labores propias de la docencia como son analizar, discutir, leer documentos, realizar ejercicios, formular preguntas, trabajar en equipo, etc. Todo ello de forma virtual mediante internet, sin mediación física entre docentes y alumnos. Cuando hablamos de EVA, es muy común pensar en Moodle, una de las plataformas más conocidas y extendidas en este ámbito. Esto en parte se debe a que es un programa de código abierto, es decir tiene licencias gratuitas. En este sentido este proyecto se enfoca la transformación del campus virtual creado en Moodle hacia un nivel avanzado de enseñanza y disposición del material. Para el desarrollo de esto se emplea la Taxonomía Solo (Bigg, 2007), elaborando las clases mediante niveles de avance respecto a resultados de aprendizajes e indicadores de logro. En el sentido de implementar eficientemente los entornos virtuales (Ramirez, et al., 2020) se plantea una metodología de educación activa, con el propósito de potenciar el aprendizaje autónomo del estudiante. Por ello se proponen cuatro pilares fundamentales para el desarrollo de correcto de la asignatura:

1. Organizar del curso según unidades a tratar como se observa en la Figura N°1, donde es posible apreciar también la realización de evaluaciones como una pestaña aparte. Se debe mencionar que PEP significa Prueba Escrita Programada y PA, Prueba Acumulativa.



Figura N° 1. Visualización general del Curso en modalidad E-Learning.

2. Creación de una pestaña de presentación del curso, que incorpore: la descripción general del curso; los resultados de aprendizaje que se esperan con las tres unidades; un cronograma que presente con detalle las actividades que se deben desarrollar en los tiempos establecidos; las evaluaciones con sus respectivas fechas; foros de ayuda y consultas dedicados a consultas por parte del estudiante. De modo que la disposición de la información relevante se

muestra de la manera más clara y cómoda posible, como se puede observar en la Figura N° 2 y Figura N°3.

Resultados de aprendizaje

- Interpretar conceptos básicos de la Ingeniería de Mantenimiento, abarcando las definiciones, estrategias e indicadores relevantes actualmente de esta inge
- Implementar métodos de priorización y estadística para caracterizar datos reales obtenidos del funcionamiento de activos (o flotas de activos) específicos.
- Simular procesos de mantenimiento desde la perspectiva de una estrategia predictiva.

Unidades

Unidad 1: Introducción para la Ingeniería de Mantenimiento.  
 Unidad 2: Métodos de priorización y estadística para la Ingeniería de Mantenimiento.  
 Unidad 3: Simulación y Predicción de Fallos.

Cronograma



Figura N° 2. Pestaña presentación indicando los resultados de aprendizaje, unidades y cronograma.

Evaluaciones

Semana	Actividad	Ponderación
09/05/2022-16/05/2022	PEP 1 Unidad 1 y 2	70% Nota 1
14/03/2022 - 02/05/2022	U Virtual 1 Clase 1 hasta Clase 12	15% Nota 1
09/05/2022-16/05/2022	Tarea 1	15% Nota 1
09/07/2022-16/07/2022	PEP 2 Unidad 3	70% Nota 2
23/05/2022 - 02/07/2022	U Virtual 2 Clase 13 hasta Clase 20	15% Nota 2
09/07/2022-16/07/2022	Tarea 2	15% Nota 2

Foros

- Foro Avisos
- Foro Consultas & Orientaciones

Figura N° 3. Pestaña de presentación indicando las evaluaciones y foros.

3. Estructuración de Unidades según las clases que se tengan planificadas. En la pestaña de inicio de las unidades se destaca el título de manera gráfica. Esta pestaña posee una estructuración de cuatro niveles, donde se distingue la descripción de la unidad, los resultados de aprendizaje; los contenidos a tratar y las clases correspondientes. Todo lo expuesto es a nivel general para que se tenga un contexto de la unidad, como se puede apreciar en la Figura N°4.

**Unidad 1**  
**Conceptos básicos para la Ingeniería en Mantenimiento**

**Descripción**

El primer paso para convertirse en ingenieros(as) con altos conocimientos sobre el mantenimiento es saber precisamente que es el mantenimiento, a que se refiere esta palabra de mantenimiento es saber cómo llevar un plan apropiado a las diversas circunstancias con las que nos encontramos en el mantenimiento. Existen diversos planes y programas clave y se debe a que en las industrias todo se reduce a KPI's, los resultados que tendrán que presentar en su trabajo lo harán por medio de indicadores y el mundo del mantener

**Resultados de aprendizaje**

Interpretar conceptos básicos de la Ingeniería de Mantenimiento, abarcando las definiciones, estrategias e indicadores relevantes actualmente para la industria del mantenimiento.

**Contenidos**

- Conceptos básicos del Mantenimiento
  - Explicación de lo que es una falla y como afecta a la capacidad del sistema.
  - Definición de los diferentes estados de un sistema.
  - Explicación de componente reparable y no reparable.
- Definición y explicación del uso de los mantenimientos:
  - Correctivo.
  - Preventivo.
  - Predictivo.
- Mencionar diversas estrategias que también se aplican en la industria como:
  - Mantenimiento productivo total.
  - Mantenimiento centrado en la confiabilidad.
  - Mantenimiento Overhaul.
  - Mantenimiento análisis causa-raíz.

**Clases**

Figura N° 4. Pestaña de inicio para las Unidades.

4. Planificar las clases según el modelo aplicado en torno a Eva's y metodologías activas, caracterizado por la presencia de niveles que apoyan el entendimiento del estudiante al momento de ver la plataforma. En cada clase sincrónica se pueden ver los resultados del aprendizaje esperados, así como el trabajo antes, durante y después de clase. También se incorpora, un nivel de "Para seguir aprendiendo", donde se inserta material complementario para aquellas personas que quieran profundizar más en el aprendizaje. Por otra parte, las clases asincrónicas se caracterizan por la presencia de actividades para su desarrollo sobre el contenido visto en clases sincrónicas, con coherencia en tanto en el resultado de aprendizaje mostrado en la clase asincrónica como el contenido a tratar. Además, siempre se propone un apartado para seguir aprendiendo, para el alumnado que deseen profundizar sus conocimientos sobre el tema expuesto.

La estructura del curso en general se distribuye en 3 unidades que engloban el contenido a tratar. Estas, responden a la planilla de planificación desarrollada, de tal forma de avanzar en las resoluciones particulares de las problemáticas que se pueden abordar. Es por ello, que se distribuyen de manera equitativa en términos de clases y profundización del contenido. La unidad 1, denominada "Introducción a la Ingeniería en Mantenimiento", trata de conceptos claves utilizados y todo el conocimiento previo para el posterior desarrollo integro de la asignatura. La unidad 2 corresponde a "Métodos de Priorización y Distribuciones Estadísticas", en esta se aborda ya el proceso de mantenimiento como tal y el desarrollo de técnicas para generar la capacidad de análisis y decisión del estudiante frente a un problema de la industria. Finalmente, en la unidad 3; "Modelación y Simulación de Fallas", a partir de todo lo visto anteriormente, se procede al uso de herramientas computacionales, tales como softwares de simulación ("CPN Tools", Matlab, Raptor) para proporcionar una aplicación práctica de los contenidos vistos y compararlos con datos e información verídica y realista proporcionada por bibliotecas,

repositorios u otra fuente de recursos digitales. La inteligencia artificial puede ser utilizada en mantenimiento para algoritmos predictivos en base a redes neuronales y modelos especializados de por ejemplo la estimación de vida útil remanente, en la cual Matlab tiene herramientas muy novedosas para en un futuro poder implementar actividades y evaluaciones a partir de ella. Ahora en los lineamientos de este proyecto, cabe destacar, que la planificación de actividades, ya sean tareas, cuestionarios, foros, etc, presentan formas de evaluación automáticas para su revisión entregadas por la misma plataforma. Concretamente para el caso de los cuestionarios, ingresando la respuesta correcta, el alumno recibe su calificación de manera instantánea al concluir dicha actividad. Por lo tanto, el gran desafío en los proyectos futuros es poder extender este enfoque hacia la revisión de informes y tareas con un desarrollo menos acotado y subjetivo, con el propósito de distinguir y mejorar el modelo programado en vista del rendimiento de los estudiantes.

## RESULTADOS

Los resultados visibles al implementar la virtualización de esta asignatura a través de Moodle fueron las siguientes:

- **Aumento de la participación:** El alumnado para aprobar la asignatura, debieron completar distintas actividades, de las cuales se distinguen actividades evaluativas sumativas (foros, cuestionarios, glosario, etc) y actividades evaluadas con ponderación directa (Tareas, PEP's). Las actividades sumativas permiten, mediante la investigación y estudio constante del estudiante a lo largo del curso, un apoyo hacia el contenido desarrollado en clases sincrónicas, al igual que una aplicación directa del contenido. Los porcentajes de evaluación para la carrera de Ingeniería Civil Mecánica se pueden observar en el Tabla 2, donde se aprecia un porcentaje general por sobre el 90% de participación.
- **Aplicación de contenidos en la industria:** las actividades evaluadas basan su creación en documentos usados en la industria, así como investigaciones en el área que permiten ahondar en los contenidos con aplicaciones realistas. Es por ello que se presentan algunas tesis empleadas permiten al alumno distinguir y a su vez apreciar el alcance de la asignatura.
- **Conocimiento de nuevas técnicas y herramientas:** El estudiantado al inicio de la asignatura, según lo indicado en las encuestas y actividades realizadas, tienen una baja noción de conocimiento para afrontar los contenidos, destacando la motivación para aprender y mejorar a medida que transcurre el semestre.
- **Aplicación de contenidos previos:** La asignatura permite al estudiantado usar contenidos vistos de manera anterior en otras asignaturas, tales como programación, métodos numéricos, estadística y probabilidad, entre otros, reforzando dichas áreas.
- **Consultas de los estudiantes:** Al enseñar nuevas técnicas y herramientas que anteriormente no se habían implementado en la asignatura, hubo una gran cantidad de consultas y participación del alumnado fuera del horario de clases, donde se evidenció un significativo interés en la asignatura.
- **Proyección Laboral:** Al incorporar aplicaciones basadas en proyectos desarrollados con anterioridad, gran cantidad de estudiantes ven la asignatura con ojos de especialización y proyección futura, con propósito de desempeñarse en el área de mantenimiento. Es así, como el contenido visto se asemeja a la realidad y promueve el sustento hacia un buen desempeño en el ámbito laboral.

Cabe destacar, que el acceso a la plataforma es mediante la aplicación dispuesta por la Universidad, a través de internet y en el cual los cursos se crean según los requerimientos de la asignatura. Junto con ello, la matrícula de los alumnos viene a partir de la lista entregada por Registro Curricular una vez que terminar el periodo de inscripción de asignaturas. En cuanto a las actividades, todas funcionan con cierre según los plazos establecidos en la programación, visualizado correctamente en la actividad activa y finalizando cuando dicho plazo concluye, mostrado en la figura N°5.



Figura N°5: Finalización de actividades según plazo programado.

Con motivo de comparación entre la participación de los estudiantes durante los dos últimos semestres lectivos para las carreras de Ingeniería Mecánica se elabora la tabla 1. En esta tabla es posible apreciar la participación relativa de las y los estudiantes para el modelo anterior de Virtualización (Nivel Intermedio), considerando una muestra de 30 estudiantes. Por otra parte, en la tabla 2 es posible encontrar la participación relativa de las y los estudiantes en un modelo de Virtualización Avanzado que es el que se encuentra activo actualmente para la asignatura, para una muestra de 21 estudiantes. Con ello, se muestra un aumento de la participación y finalmente un aumento en el respectivo aprendizaje de los estudiantes en la asignatura, donde en términos relativos se aprecia un aumento de rendimiento entre un 4% y 5% en promedio considerando todas las actividades y evaluaciones propuestas.

Tabla N° 1. Tabla de participación Ing. en Mantenimiento 2S-2021

Actividad	Nombre actividad	Participación
Formativa	Presentación Alumnos	88%
Formativa	¿Qué son los EVA's y cuáles son sus aportes?	85%
Formativa	Foro de Ingeniería de Mantenimiento	85%
Formativa	Foro TURNITIN	85%
Formativa	Foro Clasificaciones de estrategias de Mantenimiento	85%
Formativa	Foro KPI's	76%
Formativa	Glosario de KPI's de Mantenimiento	83 respuestas
Evaluativa	Tarea: Análisis de Pareto	76%
Evaluativa	Tarea: Análisis Jack Knife	73%
Formativa	Foro métodos de priorización	70%
Evaluativa	Tarea: Tabla con distribuciones estadísticas	55%
Evaluativa	Tarea 1	64%
Evaluativa	PEP 1	97%
Formativa	Terminología Redes de Petri	79%
Evaluativa	Desarrollo de Red de Petri	58%

Formativa	Foro video Ingeniería de Confiabilidad	67%
Formativa	Foro Diagrama de Bloques de Confiabilidad (RBD)	100%
Evaluativa	Tarea 2	76%
Evaluativa	PEP 2	91%

Tabla N° 2. Participación Ing. en Mantenimiento 1S-2022.

Actividad	Nombre actividad	Participación
Formativa	Cuestionario ¿Qué es el Mantenimiento?	80%
Formativa	Foro 1: Estrategias de Mantenimiento	90%
Formativa	Foro 2: KPI's	80%
Formativa	Actividad 1: Análisis de Pareto	90%
Formativa	Actividad 2: Análisis de Dispersión Logarítmica	90%
Formativa	Cuestionario Distribuciones Estadísticas	85%
Formativa	Glosario de KPI's de Mantenimiento	58 respuestas
Formativa	Foro 3: Importancia Distribución Weibull	85%
Formativa	Actividad 3: Parámetros Weibull	85%
Evaluativa	Tarea 1	85%
Evaluativa	PEP 1	90%
Evaluativa	Actividad 4: Red de Petri Determinista	84%
Evaluativa	Foro 4: Ingeniería en Confiabilidad	84%
Evaluativa	Foro 5: Diagrama de Bloques RBD	89%
Evaluativa	PEP 2	84%

Se debe hacer mención sobre la partición de las PEP's, ya que bajo de un semestre a otro debido a la cantidad de alumnado que tomó el curso y la deserción estudiantil. Aun así, el rendimiento en las calificaciones y el desarrollo del curso en general ha sido positivo y con mejoras sostenibles durante cada semestre de implementación de la virtualización del ramo.

## CONCLUSIONES

La actualización de contenidos que ha sufrido la asignatura los últimos años, más aún, con la situación sanitaria mundial que obligó a la creación de canales virtuales, a la vez de impartir clases de manera virtual, abriendo una brecha de acceso a la educación que hasta ese momento recién estaba comenzando a generarse, es imprescindible la actualización de contenidos de asignaturas como Ingeniería en Mantenimiento. Es por ello, que, para pasar a un plan de estudio con más horas pedagógicas, la implementación de horas de ayudantía, producto del uso de softwares y ejercicios aplicados en la industria es una de las exigencias que el curso requiere a medida que se mejora constantemente con las nuevas actualizaciones en el área de Virtualización. Transformar hacia un nivel Avanzado no es tarea fácil, y si bien el semestre 1S-2022 es de modalidad híbrida, no ha impedido una buena calidad de educación para los estudiantes, tratando de conseguir con ello, el mejor de los resultados mostrado en las tablas de participación, concretamente, la tabla 2 que muestra la situación actual de la asignatura. Junto con ello, se aprecia un aumento significativo de la participación, donde, sumado a la tasa de

asistencia presencial (18 a 20 estudiantes por clase) y una participación en las actividades de la primera unidad de un 85%, es posible ver una realidad ya no distante con esta nueva forma de enseñanza. La dualidad, entre presencial y online, no ha visto empañado el desarrollo común del curso, por lo que mostrar la asignatura como una implementación novedosa, eficiente y con buena tasa de desempeño, es uno de los desafíos actuales y que debe seguir mejorando.

El enfoque del curso va de cambiar la perspectiva de un “Ingeniero en Mantenimiento”, quien concretamente, usa su conocimiento para la implementación de mantenimientos correctivos ligados a cada sistema particular, cuando es mucho más allá que sólo esa área de dedicación. Promoviendo el mantenimiento predictivo, como una de las alternativas más rentables en corto y largo plazo producto de la capacidad de ahorro y toma de decisiones basadas en resultados categóricos, ayuda a que el alumno se vea enfrentado a interpretar y discernir sobre lo que es correcto y aquello que incide de manera más significativa en la industria estudiada y descrita anteriormente.

La virtualización promueve la investigación, el desarrollo autónomo y apoyado por la labor docente, donde la educación activa es la metodología fuerte para las nuevas generaciones que disponen de gran cantidad de información a la mano para aprender. Un trabajo constante, semana a semana, con nuevos desafíos y alternativas varias para ejecutar de manera práctica todos los contenidos abordados, son los enfoques de la asignatura en nivel avanzado, dejando de lado una charla monótona por parte del docente en horas pedagógicas, y entrando estrechamente al aprendizaje metódico mediante actividades dinámicas con recursos tecnológicos varios (PADLET, Mentimeter, H5P), donde en la planificación han sido diversos con el mismo fin y no promueva la sobrecarga del estudiante, debido a su corta duración, más aún, con el inevitable uso de softwares que día a día toman más fuerza en la vida actual.

## AGRADECIMIENTOS

## REFERENCIAS

- Hasan, O., et al. (2015). *Reliability block diagrams-based analysis: A survey*. AIP Publishing LLC.
- Biggs, J. (2007). *Calidad de Aprendizaje Universitario*. s.l.: Universitaria, Narcea.
- Ramirez, L., et al. (2020). *Entornos virtuales de aprendizaje: usabilidad y alcance en la formación de competencias profesionales*. Mexico : s.n.
- Erro, M., et al. (2016). *Creativity and Engineering Education: A Survey of Approaches and Current State*. ICERI2016 Proceedings.
- MSO (2020). *Algoritmos de Machine Learning*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Universidad de Santiago de Chile (2021). *Modelo Educativo Institucional*. Santiago, Chile.