



## **LABORATORIO VIRTUAL PARA EL APRENDIZAJE BASADO EN PROYECTOS EN AUTOMATIZACIÓN**

Alejandro Valencia, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, [alejandro.valencia.r@mail.pucv.cl](mailto:alejandro.valencia.r@mail.pucv.cl)  
Héctor Vargas, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, [hector.vargas@pucv.cl](mailto:hector.vargas@pucv.cl)

### **RESUMEN**

Este artículo presenta el desarrollo de un laboratorio virtual 3D orientado a la formación de competencias profesionales en el campo de la automatización, específicamente, en el diseño e implementación de proyectos de automatización de gran escala. El laboratorio se ha desarrollado bajo la plataforma de simulación Factory I/O, herramienta orientada a la enseñanza de la automatización que permite recrear entornos industriales automatizados cercanos a la realidad. A diferencia de las metodologías tradicionales de enseñanza centrada solo en aspectos técnicos puntuales, esta propuesta busca situar al estudiante en un contexto de desarrollo de un proyecto de automatización completo, es decir, desde su concepción técnica y económica hasta su implementación y prueba final. El artículo muestra el potencial de Factory I/O bajo nuestra propuesta metodológica, describiendo un ejemplo de proyecto de actualización tecnológica de una línea de producción industrial existente que requiere ser actualizada para atender al aumento de la demanda del bien que produce. Herramientas de simulación como ésta pueden ir un paso más allá que las tradicionales, especialmente cuando se utilizan para la formación de competencias profesionales en automatización de procesos.

**PALABRAS CLAVES:** Automatización, Laboratorio Virtual, Educación, Competencias, ABP.

### **INTRODUCCIÓN**

En los últimos años, los procesos productivos industriales han incrementado aceleradamente su grado de automatización con la finalidad de conseguir los beneficios económicos esperados a través de una producción eficiente. Este proceso de modernización al que se ve enfrentada la industria manufacturera y de servicios, hoy en día conocida como Industria 4.0, requiere contar con profesionales altamente capacitados, que cuenten con sólidos conocimientos en el ámbito de la planificación, diseño e implementación de proyectos de mecanización y automatización de procesos (Marfán y Meller, 2019).

La formación académica de un ingeniero del área de la automatización requiere que éste adquiera y aplique conocimientos de múltiples disciplinas. La teoría base es instruida por las casas de estudios que imparten ingenierías vinculadas a la ingeniería de control y mecanización de procesos; esta teoría es a su vez complementada con la teoría económica que, mediante casos hipotéticos de evaluación de proyectos, estudia los conceptos de costes, ingresos e inversiones; también destacan los cursos de organización industrial e investigación de operaciones, cuyo objetivo es entregar conocimientos para diseñar un proceso productivo óptimo contemplando tiempos de puesta en marcha, tiempos de producción, cuellos de botella, entre otros. No obstante, los egresados exhiben falta de experiencia al momento de enfrentar situaciones del mundo laboral como la planteada en este artículo, principalmente debido a que las metodologías de enseñanza no integran estas disciplinas en problemas reales de manera holística, sino más bien, se enseñan separadamente a través de ejemplos hipotéticos poco cercanos a la realidad práctica que un ingeniero de automatización enfrenta en la vida real.



Por otra parte, un estudiante de ingeniería de control necesita en su formación no solo la teoría asociada a la disciplina, que es lo típico en las instituciones educativas, sino también la práctica orientada a la experiencia (De la Cruz, et al., 2010). No obstante, la creación de laboratorios prácticos efectivos para trabajar estos puntos incurre en una dificultad para las universidades, debido a la imposibilidad de implementar laboratorios que contengan todos los elementos requeridos en un sistema de automatización industrial de gran escala (sensores, actuadores, procesos, controladores PLC, etc.), el espacio requerido para localizar estos elementos, sus costos asociados y el alto número de estudiantes que lo demanda (Capote, et al., 2016).

El sector productivo confía al sector académico la misión de preparar profesionales con experiencia de egreso lo más cercana posible a las situaciones laborales reales. No obstante, muchas veces desarrollar metodologías de enseñanza con estas características no es una tarea sencilla dada la imposibilidad de recrear escenarios laborales reales, especialmente, cuando hablamos de plantas de producción industrial de gran escala. Hoy en día, existen propuestas tecnológicas innovadoras para este fin basadas en el uso de software de simulación, pero que deben ir acompañadas de una propuesta pedagógica adecuada (Gamboa y García, 2012). En este contexto, este artículo presenta el desarrollo de un laboratorio virtual 3D de apoyo a la formación de competencias profesionales del área de control, específicamente, en el desarrollo de proyectos de automatización industrial, con especial énfasis en el diseño y evaluación de actualizaciones tecnológicas en fábricas industriales de gran escala.

Este artículo se distribuye en los siguientes apartados. La sección 2 presenta la fábrica (o línea de producción) virtual que debe ser analizada y mejorada. La sección 3 desarrolla un análisis detallado desde una perspectiva del diseño y disposición espacial de los elementos de la fábrica, mientras que la sección 4 realiza un análisis operacional de la misma, para finalmente proponer una distribución actualizada de ésta. La sección 5 presenta su implementación y, finalmente, la sección 6 presenta algunas conclusiones y futuro desarrollo de este trabajo.

## **DESCRIPCIÓN DE LA FÁBRICA EXISTENTE**

La primera etapa de este laboratorio implica recopilar los antecedentes referentes al estado actual de estructura y operación de la fábrica. Se focaliza el estudio en: 1) los procesos de transformación desde la entrada de la materia prima hasta que se obtiene el producto terminado, 2) los costos asociados a la producción actual, 3) los tiempos de fabricación y 4) los datos técnicos del equipamiento de la fábrica (sensores, maquinaria y herramientas automatizadas, materia prima, etc.), la que se realiza valorando cada uno de los dispositivos virtuales proporcionado por Factory I/O como si fueran equipamiento real.

A modo general, la fábrica virtual produce cajas de color azul y verde, las que están compuestas de una base y una tapa. La Fig. 1 presenta el diagrama P&ID de la fábrica virtual que elabora el producto. La secuencia de manufacturación inicia desde un bloque emisor que introduce la materia prima que posteriormente es transformada en una tapa y una base, primero una y luego otra, mediante un centro de mecanizado (recuadro amarillo). Seguidamente, la tapa y la base llegan a la estación de clasificación de tapas y bases (recuadro azul) para, finalmente, redirigir éstas a la etapa de ensamblado para concretar el producto final (recuadro verde).

Este diagrama se concretiza en Factory I/O a través de los ítems que el simulador proporciona para desplegar el escenario de automatización, como muestra la Fig. 2. Como se puede apreciar,

el producto viaja a través de las estaciones de proceso por correas transportadoras con un nivel de realismo notable, lo que estimula la imaginación y el interés del estudiante.

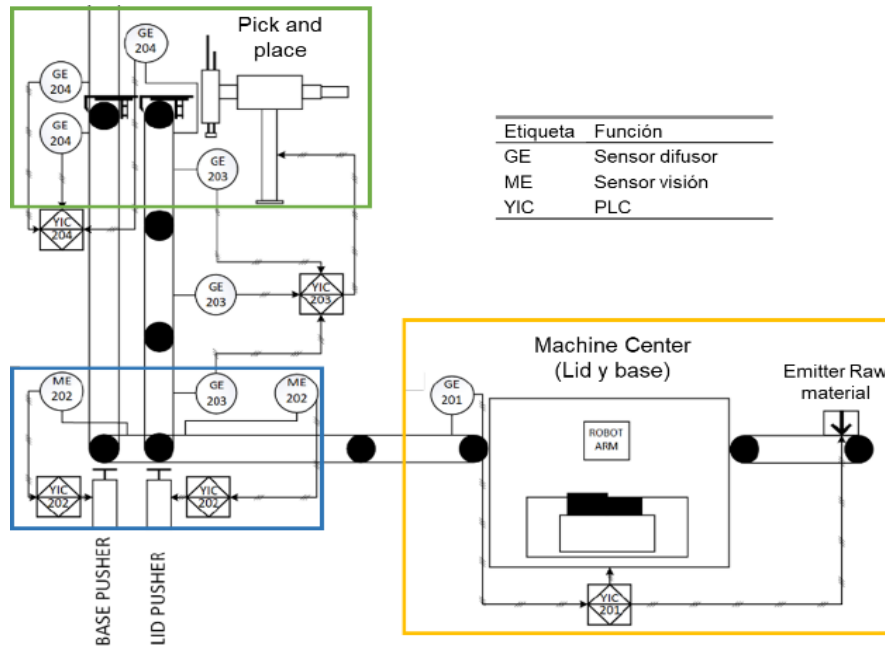


Figura N° 1. Plano P&ID de la fábrica actual.

La materialización del análisis técnico de la fábrica existente se realizó en base a la hoja de datos técnicos entregada por Factory I/O para sus ítems de equipamiento disponible. Esta fábrica virtual se implementó inicialmente con un modo de funcionamiento semi-automático, es decir, con algunas etapas no automatizadas y con un controlador de proceso programado heurísticamente. En este sentido, representaría una fábrica en sus primeros años de producción, que luego necesita ser actualizada producto de la demanda creciente del bien que produce.

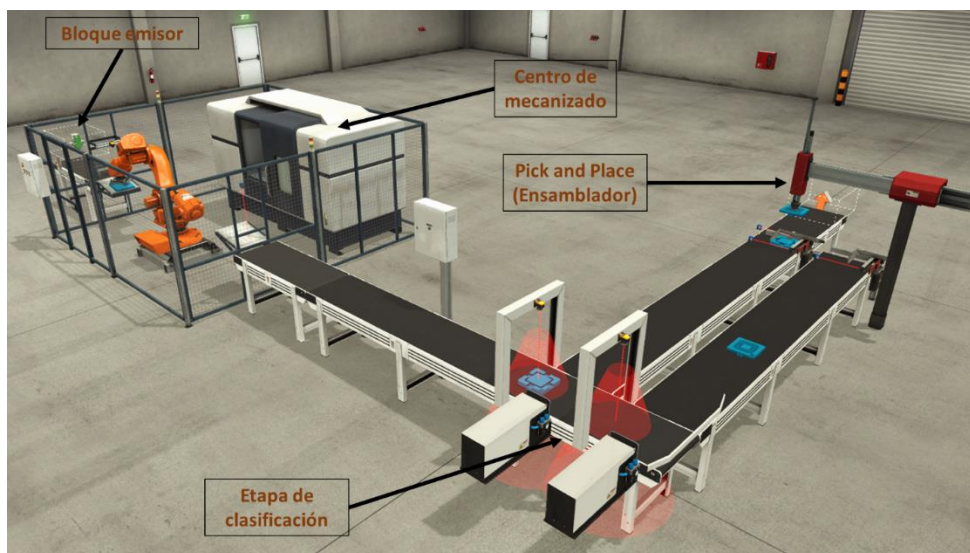


Figura N° 2. Implementación de la línea de producción en Factory I/O.

Para su análisis técnico de funcionamiento, se registran tiempos cronometrados tales como: Emitir o insertar materia prima, 1 [s]; funcionamiento del centro de mecanizado 67 [s] (35 [s] por una tapa y 32 [s] por una base); clasificador de tapas, 2 [s]; clasificador de bases, 3 [s]; ensamblado de cajas, 8 [s]. Resultando en promedio que cada 67,441 [s] se fabrica una caja (tiempo de ciclo), con lo cual se obtiene una producción diaria de 427 cajas terminadas en una jornada de 8 horas (28.800 [s]). Además, se contempla como dato ficticio y en efecto de una futura evaluación económica que la materia prima por caja cuesta US\$11,2 y la caja terminada es comercializada en US\$32.

De los tiempos cronometrados, es posible determinar que el centro de mecanizado es el cuello de botella del proceso y marca el ritmo de la producción, por lo tanto, para conseguir un aumento de la producción se debe aumentar la cantidad de centros de mecanizado, evitando que se llegue a producir atochamiento de material en otra estación de trabajo.

### ANÁLISIS LOGÍSTICO PARA LA ACTUALIZACIÓN DE LA FÁBRICA

Esta sección describe la secuencia de análisis que un ingeniero de proyectos de automatización debería llevar a cabo para proponer una actualización de la fábrica. Para actualizar la distribución de la línea de producción, se propone aplicar el procedimiento SLP (Systematic Layout Planning) planteado en las distintas publicaciones del autor Richard Muther (Muther, 1968) y replicado en otros trabajos (Vallhonrat y Corominas, 1991) (Suñe, et al., 2004) con el propósito de aumentar la oferta de productos por medio de una fabricación óptima.

#### Diagrama de recorrido

El primer paso del método SLP es la recopilación de antecedentes sobre la producción, el cual se concreta en la etapa de estudio del estado actual. Para ello, en el primer paso se busca esbozar el diagrama de recorrido de la fábrica, la que identifica y representa el camino recorrido por el material hasta que el producto terminado llega a bodega (ver Fig. 3).

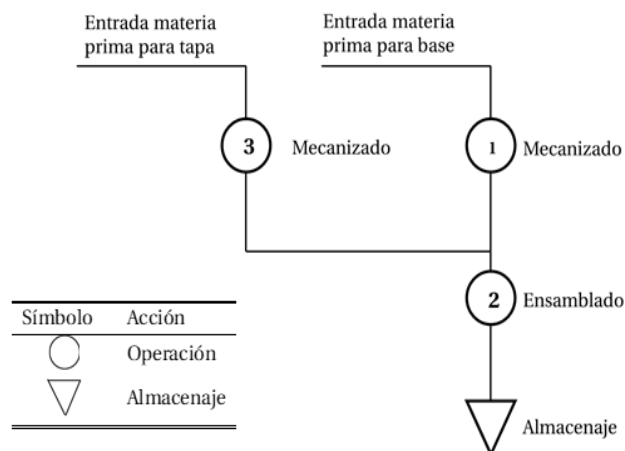


Figura N° 3. Diagrama de recorrido (Muther, 1968).

## Relación entre actividades

Busca asignar el grado de importancia a una actividad en función de la cercanía que debe existir entre las estaciones de trabajo, departamentos y otras secciones presentes en la fábrica. Para ello, se elabora una tabla con un formato particular que enlista las distintas actividades en base a la información recopilada y la teoría de factores influyentes en la distribución de planta.

La Fig. 4 representa la tabla de relación de actividades de la fábrica. Para su interpretación, primero se debe identificar el rombo que intercepte dos actividades, por ejemplo, la sala de control y mantenimiento presenta una proximidad absoluta (A, color rojo) con el ensamblador y con el mecanizado de tapas y bases, puesto que es primordial que en el proceso virtual de fabricación estas estaciones de trabajo estén siendo monitoreadas y asistidas en caso de fallas.

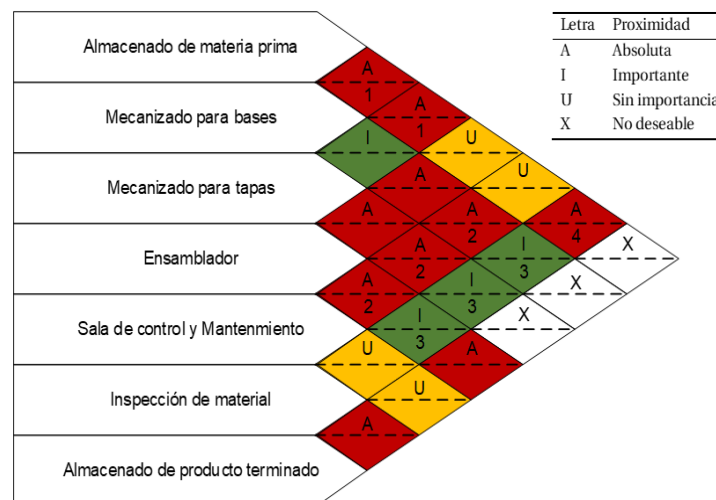


Figura N° 4. Cuadro de relación de proximidad entre actividades (Muther, 1968).

Mientras que el “número” presente en los rombos describe una justificación a la determinación del grado de proximidad, con los siguientes criterios:

1. Reducir la distancia recorrida de la materia prima.
2. Monitorear la fluidez de la producción.
3. Cercanía al comienzo de los centros de mecanizado y al término de la elaboración.
4. Comprobar la calidad de la materia prima.

Así, en esta instancia, se debe esbozar un diagrama que permita dilucidar el comportamiento del material procesado con su recorrido y las actividades implantadas, como muestra la Fig. 5. En primera instancia, este diagrama parece confuso, pero si es analizado detenidamente se puede visualizar la disposición de la fábrica y determinar los siguientes puntos:

- Si se realiza el seguimiento de las flechas que simbolizan el transporte (cintas transportadoras) es posible determinar el flujo del producto desde que ingresa como materia prima hasta que se transforma en una caja plástica.
- La línea punteada es de proximidad absoluta, pero se desestima esta relación puesto que de ser considerada ambos almacenamientos estarían muy cerca y podría crear un desorden entre la agrupación de materia prima y producto terminado.

- Respecto al almacén de materia prima, es más factible subdividir esta sección en pequeños almacenes cercanos a los centros de distribución para así conseguir mayor flexibilidad ante cambios en el diseño y menor recorrido del material.
- A partir del punto anterior es posible determinar que la inspección del material se debe realizar entre la estación de ensamblado y el almacén de producto terminado.
- La última observación consiste en ubicar la sala de control y mantenimiento, lo más central posible a la línea de producción, para así visualizar todo el proceso y alertar peligros o fallas inesperadas.

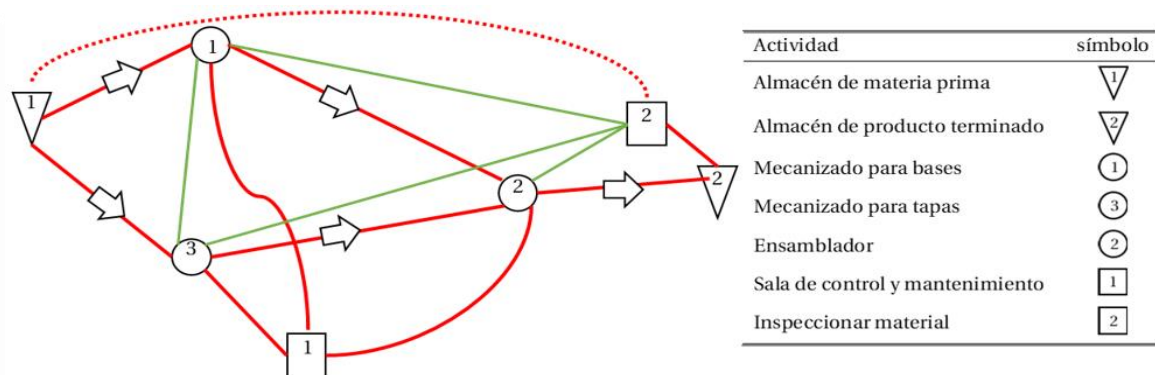


Figura N° 5. Diagrama de procesos para el nuevo diseño de la fábrica (Muther, 1968).

### Layout de la fábrica actualizada

Terminado el paso anterior, es posible determinar una propuesta de actualización de la planta con su posible distribución, la cual se obtiene en base a las siguientes consideraciones:

- En primera instancia, el diseño debe fluir en beneficio de la disponibilidad de espacio en la entrada de la fábrica virtual, puesto que por la cortina de acceso debe entrar cargamento con materia prima y salir cargamento con producto terminado.
- Los centros de mecanizados se posicionarán con la finalidad de entregar flexibilidad ante aumentos de producción de los cuellos de botellas en el futuro, para evitar grandes costos de reinversión.
- Por último, se debe señalar que las longitudes de las cintas transportadoras disponibles en Factory I/O son predeterminadas de 2, 4 y 6 [m], y su implementación es reglamentada, con la condición de unificar las estaciones de trabajo al mínimo recorrido posible, resguardando el uso excesivo de las cintas transportadoras cuando pueda ser evitable. Por ejemplo, en un recorrido de 6 [m] no utilizar tres cintas de 2 [m] porque implica mayor costo de mantenimiento (3 motores en vez de uno).

El desarrollo del estudio de actualización de la fábrica se ha centrado, hasta ahora, en la construcción e interpretación de diagramas aplicando heurística. Así mismo, se ha incorporado también la aplicación de conceptos de toma de decisiones para el diseño basado en estos análisis, tal como lo haría un ingeniero al que se le haya encomendado la misión de rediseñar una planta productiva. Por ejemplo, se podría decidir implementar una sección de inspección y control de calidad o considerar una sala de control y mantenimiento. En consecuencia, estos análisis preliminares generan un nivel de experiencia laboral importante en los estudiantes.

## ANÁLISIS OPERACIONAL PARA LA ACTUALIZACIÓN DE LA FÁBRICA

Definir que el nuevo diseño es el correcto sería una decisión apresurada y un indicador de un profesional poco competente, ya que es necesario validar la distribución de la fábrica mediante una evaluación técnica basada en datos. Para ello, aplicamos el algoritmo de Heguelson y Birnie (Suñe, et al., 2004), que se resume en la Tabla 1 y complementa con la Fig. 7, donde A y B, corresponde al ingreso de materia prima; C, al mecanizado de tapas; D, al mecanizado de bases; E, al ensamblador (o pick and place); y F, la sección reservada al control de calidad.

Para este análisis, se asume que el tiempo de ciclo ( $T_c$ ) quede determinado de forma arbitraria considerando la regla de que este tiempo debe ser mayor o igual a la actividad más lenta. Por lo tanto, se considera que dicho tiempo sea de 36 [s/unidad], desprendiéndose una producción diaria de 800 [unidades/día] para una jornada de 8 horas y 3 estaciones objetivos (Ecuación 1), casi duplicando la producción diaria de la distribución de planta existente. Es de esperar tener un aumento sustantivo de la producción al agregar un nuevo centro de mecanizado, separando la producción de tapas y bases en dos estaciones que funcionan en paralelo.

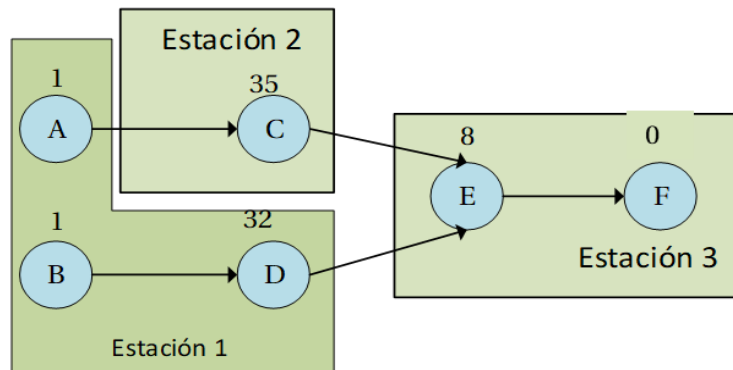


Figura N° 7. Diagrama de nodos del nuevo diseño de planta.

$$NME = \frac{\sum_i T_i}{T_c} = \frac{77}{36} = 2,2 \approx 2 \quad (1)$$

Tabla N° 1. Balanceo operacional del layout actualizado.

Estación $j$	Tarea disponible	Tiempo de tareas (s)	Tarea asignada	Tiempo de tarea asignada (s)	Tiempo disponible (s)	Tiempo muerto en la estación (s)
1	A	1	A	1	35	2
	B	1	B	1	34	
	C - D	35 - 32	D	32	2	
2	C	35	C	35	1	1
3	E	8	E	8	28	28
	F	0	F	0	28	

$$E(\%) = \frac{\sum_i T_i}{N \cdot T_c} \cdot 100 = \frac{77}{3 \cdot 36} \cdot 100\% \approx 71\% \quad (2)$$

Donde:  $T_i$ , es el tiempo de cada tarea;  $N$ , el número de estaciones y  $T_c$ , tiempo de ciclo.

Los resultados de la planta existente indican una inactividad del 29% desprendida del cálculo de la eficiencia (Ecuación 2) correspondiente a los 28 [s] de tiempo muerto en la estación 3. Esto puede ser cubierto en cierto grado por el control de calidad realizado en forma manual o automatizada al final de la línea de producción en conjunto con un almacenamiento simple, buscando mantener más ocupada la última estación de trabajo. Cabe mencionar que las líneas de transporte no influyen en el tiempo de ciclo, debido a que se comportan como una cuerda que entrega fluidez a la producción y no retrasan la fabricación del producto.

## IMPLEMENTACIÓN DE LA FÁBRICA ACTUALIZADA

El diseño de la línea de producción se puede apreciar en el diagrama de la Fig. 8 y Fig. 9, la cual depende de una inversión inicial de US\$2.558.475 y se compone de los siguientes equipos e instrumentos:

- 4 bloques emisor, 2 para ingresar materia prima verde y 2 para materia prima azul.
- 3 cintas transportadoras de 2 [m], que operan con una velocidad estándar de 0,6 [m/s].
- 2 cintas transportadoras de 4 [m], que análogamente opera hasta una velocidad de 3 [m/s].
- 2 centros de mecanizado, uno para procesar una tapa que tarda 35 [s] y otro para las bases que tardan 32 [s].
- 6 sensor difusor que detecta material hasta 1,6 [m] máximo.
- 2 abrazaderas, que sube verticalmente e incluye sensores que entregan respuesta digital.
- 1 Pick and place de dos ejes, cuyo recorrido del eje X es de 1,125 [m] y el eje Z de 0,625 [m], donde su velocidad de desplazamiento es de 2 [m/s].
- 1 sensor de visión, detecta color y entrega combinación de cuatro entradas digitales.
- 1 PLC virtual S7-1200, simulado en software S7 PLCSIM de TIA Portal.
- 1 tablero de control, para controlar la producción y adquisición de la manufacturera.
- 1 bloque eliminador, simula el traslado de la caja terminada hasta el almacenamiento.

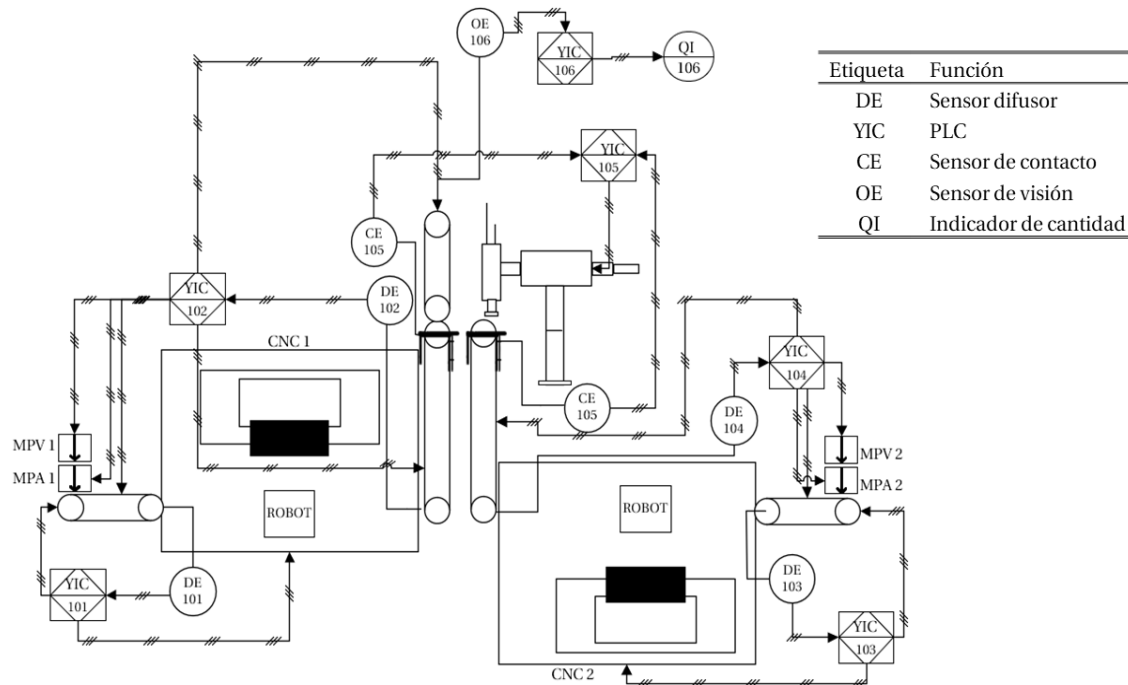


Figura N° 8. P&ID actualizado de la línea de producción.

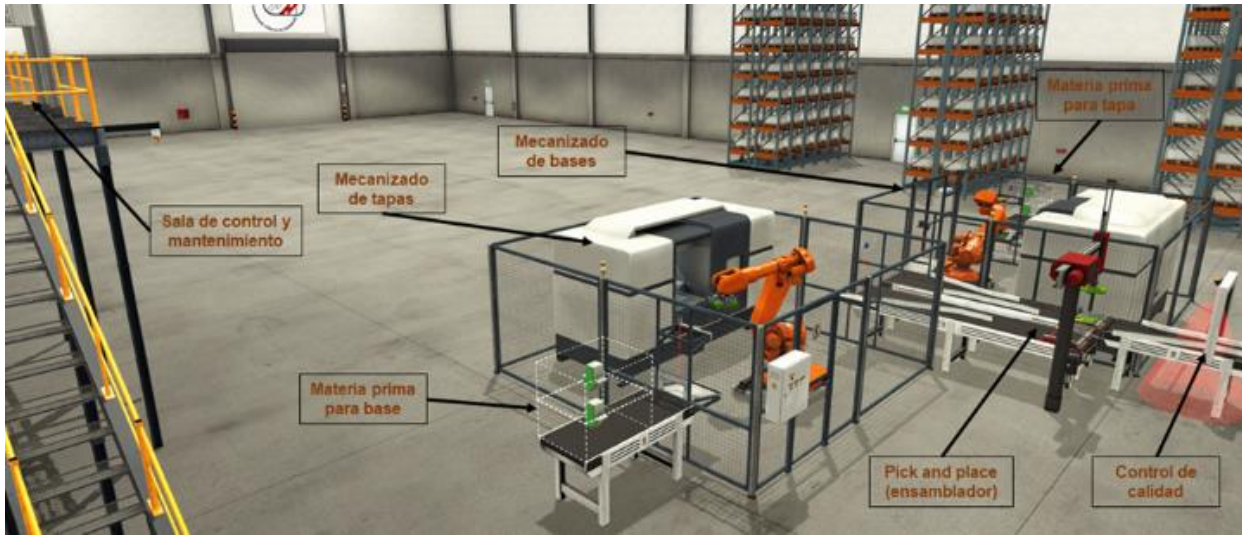


Figura N° 9. Implementación de la fábrica actualizada en Factory I/O.

A cada centro de mecanizado (CNC1 Y CNC2) ingresan dos bloques de materia prima de color azul o verde, dependiendo del estado del selector en la sala de control. Por otra parte, las cintas transportadoras se accionan con el sensor que detecta la materia prima de entrada y se detienen por la acción de un sensor posicionado en la entrada de los CNC. El CNC 1 se encarga de producir bases y el CNC 2 de producir tapas. Una vez que la base es procesada, esta es llevada a la bahía de salida del CNC 1 y el sensor alojado en esta posición acciona la cinta transportadora de 4 metros que la llevará hasta la estación de ensamblado. La tapa procesada se somete al mismo recorrido, saliendo del CNC 2 y llevada por una cinta transportadora similar hasta la estación de ensamblaje. Posteriormente, la tapa y la base llegan hasta su respectivo sujetador que las acomoda, para que el dispositivo ensamblador (pick and place) pueda armar las cajas de forma correcta. Este es accionado cuando el sensor interno de las abrazaderas detecta que tanto la tapa y la base se encuentran sujetas. Este desciende y luego asciende verticalmente con la tapa adherida, se desplaza horizontalmente hasta el final de su recorrido para volver a descender y posicionar la tapa sobre la base, ensamblando de esta manera la caja. En el último proceso, la caja se traslada por una línea de transporte de 4 metros hasta el control de calidad que es registrado por un sensor de visión que detecta el color para así ser contado en el inventario.

Como paso final en esta experiencia, se puede contemplar como un resultado experimental el tiempo de ciclo desprendido de la simulación del layout propuesto, el cual se obtiene como el promedio de una muestra de 10 tiempos de ciclo cronometrados, obteniendo como resultado: Que la fábrica propuesta elaborará 1 caja cada 36,2[s].

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

En base al laboratorio presentado en este artículo que destaca por simular una situación hipotética propia de la cotidianeidad laboral de un ingeniero de la industria automatizada, es propicio que sea considerado como una estructura referencial de ABP (aprendizaje basado en proyectos), puesto que al fundamentarse en las competencias declaradas en el perfil de egreso del plan de estudio de la carrera Ingeniería Civil Electrónica (ver Fig. 10), este laboratorio contribuye principalmente al desarrollo de las siguientes competencias de formación disciplinar (C13 Y C14) y profesional (C15):

**C13** Modela y simula procesos electrónicos para representar su comportamiento, optimizar sus parámetros y mejorar la calidad de su funcionamiento.

**C14** Domina y utiliza técnicas y herramientas tecnológicas actuales para el desarrollo de proyectos de la especialidad.

**C15** Diseña, evalúa y optimiza el funcionamiento de equipos, para su operación y mantenimiento en sistemas y procesos de la Ingeniería Electrónica.

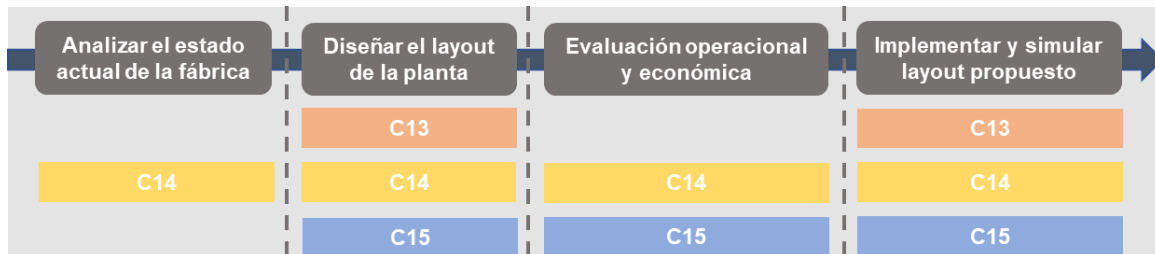


Figura N° 10. Cronología del laboratorio y competencias aplicadas.

## CONCLUSIONES

El artículo describe el desarrollo de un laboratorio virtual que ilustra el potencial de Factory I/O para la enseñanza mediante un proyecto de actualización tecnológica aplicado a una línea de producción. De acuerdo con los resultados alcanzados, se demuestra que Factory I/O no solo es útil para entrenar programación de controladores lógicos programables (PLC), que es para lo que regularmente se usa, sino que, acompañado de un enfoque pedagógico creativo, puede ser utilizado para entrenar competencias profesionales de orden superior, como lo es la proyección de líneas de producción automatizadas. Futuros trabajos estarán orientados a la confección de las herramientas de evaluación y rúbricas asociadas al uso del laboratorio en aula.

## REFERENCIAS

Capote, G., et al. (2016). La formación de ingenieros en la actualidad: Una explicación necesaria. *Revista Universidad y Sociedad*, 8(1), 21-28.

De la Cruz, F., et al. (2010). Web-LABAI: Laboratorio Remoto de Automatización Industrial. *RIAI*, 7(1), 101-106.

Gamboa, M. y García, Y. (2012). Aprender haciendo en Investigación como estrategia de aprendizaje. *Revista de Investigación UNAD*, 11(2), 7793.

Marfán, M. y Meller, P. (2019). *Estrategia Industria 4.0: Diseñando el Chile futuro*. Consejo Minero, coordinado por ASIMET.

Muther, R. (1968). *Planificación y proyección de la empresa industrial*. Barcelona: Editores técnicos asociados.

Suñe, A. et al. (2004b). Diseño de procesos de producción. En *Manual práctico de diseño de sistemas productivos* (págs. 95-109). Madrid: Díaz de Santos.

Suñe, A., et al. (2004a). Distribución en planta orientada al proceso. En *Manual Práctico de Diseño de Sistemas Productivos* (págs. 156-157). Madrid: Díaz de Santos.

Vallhonrat, J., y Corominas, A. (1991). Un método para el diseño de distribución de planta. En *Localización, distribución en planta y mantenimiento* (págs. 51-53). Barcelona: Marcombo.