

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
SANTIAGO – CHILE



**“DESARROLLO DE SIMULADOR PARA
LABORATORIO VIRTUAL DE GESTIÓN DE
PRODUCCIÓN Y OPERACIONES UTILIZANDO
SIMULACIÓN DE EVENTOS DISCRETOS”**

GUSTAVO ADOLFO STARCK HERNÁNDEZ

**MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
INGENIERO CIVIL MECÁNICO**

PROFESOR GUÍA: DR. ING. JAIME NÚÑEZ S.
PROFESOR CORREFERENTE: ING. JOHANN GODOY G.

Diciembre – 2020

AGRADECIMIENTOS

A mi papá y mamá, por siempre estar presentes durante mi desarrollo profesional en todo mi ciclo de vida; ayudándome además a formarme como persona exigiéndome día a día para que supere mis metas y sea un agente de cambio. Gracias por estar presentes en aquellos momentos donde necesitaba un empujón o un apoyo enseñándome que con resiliencia todo es posible. Los amo y estaré siempre en deuda con ustedes.

A mis tatas, por ser parte fundamental de mi vida y acompañarme en todos mis procesos formativos. Estuvieron presentes en todo momento y siempre me llenaron de alegría en nuestras conversaciones. No dudaron en prestarme apoyo cada vez que lo necesité y no hubiera terminado mi proceso profesional sin ustedes. Los admiro.

A Trinidad Caparrós, por alentarme a seguir adelante en mi etapa final universitaria. Por estar en etapas difíciles y siendo un pilar en mi vida. Vienen nuevos procesos que nos traerán alegría y donde estaré presente para acompañarte.

A Jaime Nuñez, por apoyarme en mi desarrollo de trabajo de título y abrirme un mundo de desafíos en el ámbito académico. Gracias por confiar en mi para liderar este proyecto.

A Johann Godoy, por la buena disposición a ayudarme y apoyarme cuando lo requería tratando de resolver en conjunto los problemas a los que me enfrentaba.

DEDICATORIA

Ese trabajo de título se los dedico a mis padres, que creyeron en mí y pusieron el hombro en todo momento para que pudiera salir adelante y formarme como profesional. Siempre han estado presentes cuando lo requerí y me han entregado todo para ser un agente de cambio.

También se lo dedico a mis tatas, que me han brindado una sonrisa desde que nací y me han acompañado siempre. Estoy eternamente agradecido de todo lo que han hecho por mí.

RESUMEN

El presente trabajo consiste en generar un modelo computacional de simulación de escenarios de procesos productivos para desarrollar competencias profesionales relacionados con la gestión de Producción y Operaciones, haciendo uso de Simulación de Eventos Discretos (DES), que permita apoyar el proceso de enseñanza – aprendizaje y evaluar el logro de dichas competencias. Se utiliza la Simulación de Eventos Discretos dado que, en el ámbito profesional, los procesos productivos y de operaciones se comportan de esta manera.

El modelo computacional se realiza utilizando la metodología de un estudio formal de simulación. Es decir, definiendo los requisitos fundamentales de los laboratorios mediante las Competencias Transversales Sello (CTS) y el perfil de egreso del Ingeniero Civil Mecánico UTFSM aplicados a la asignatura de “Gestión de Producción y Operaciones”. A partir de esto, y las Fuentes de Variabilidad (6M), se logra generar un diseño conceptual que toma en cuenta las fuentes de Maquinaria, Mano de Obra y Materiales, sin considerar Métodos de Trabajo, Mediciones y Medio Ambiente. Gracias a lo anterior, se construye un modelo de simulación mediante el software SIMIO.

Se conforman dos modelos de simulación: Laboratorio de Producción y Laboratorio de Políticas de inventario con la finalidad de poder desarrollar competencias profesionales. Gracias a esto, y a partir de los objetivos de la asignatura, se genera un repertorio de problemas y decisiones a implementar utilizando el simulador, para luego, analizar una pregunta de reflexión enfocada en cada laboratorio. La pregunta de reflexión enfocada al Laboratorio de Producción plantea realizar un análisis del sistema de producción mediante el cumplimiento de orden y proponer mejoras al proceso. La pregunta enfocada al Laboratorio de Políticas de Inventario requiere analizar cuál política de inventario es más apropiada para los parámetros presentados: Política de Inventario de Periodo o Pedido Fijo.

Con respecto a los resultados, se realiza el estudio para analizar el cumplimiento de orden para el Laboratorio de Producción utilizando indicador DIFOT y el porcentaje de uso de recursos. Se realizan tres escenarios: Un escenario diagnóstico obteniendo un indicador DIFOT de un 61,2%, un escenario detectando una oportunidad de mejora incorporando un recurso Operador con un indicador DIFOT 65,69% y un tercer escenario mejorando el sistema de Medición del proceso productivo y, además, agregando dos recursos para no generar cuellos de botella: una máquina de Empaque y Operador. Se obtiene un indicador DIFOT final de un 84,4% mejorando el indicador aproximadamente 13% respecto del primer escenario.

Para la pregunta enfocada al Laboratorio de Políticas de Inventario, se utilizan cuatro indicadores para determinar cuál tipo de Política es la más adecuada para los parámetros presentados, se determina que la mejor es la Política de Inventario de Pedido Fijo a raíz, de la mayor ganancia obtenida respecto de Periodo Fijo con CLP 456.430. Además, existe un costo asociado al no poder vender productos provocado por la falta de stock, donde aplicar una Política de Periodo Fijo tiene CLP 377.230 menos de pérdida de dinero respecto a utilizar una Política a Pedido Fijo.

Finalmente, se presenta una rúbrica de evaluación para las experiencias de aprendizaje apoyadas en tres pilares para el estudio: Motivación; Fidelidad del modelo y Entendimiento de los conceptos a evaluar.

ABSTRACT

This report consists on generating a computational simulation model of production process scenarios to develop professional competencies related to Production and Operations management, making use of Discrete Event Simulation (DES), which allows to support the teaching – learning process and evaluate the achievement of these competencies.

The computational model is carried out using the methodology of a formal simulation study. In other words, defining the fundamental requirements of the laboratories through the Transversal Competences Seal (CTS) and the graduate profile of the UTFSM Mechanical Civil Engineer. From the above, and the Sources of Variability (6M), it is possible to generate a conceptual design that takes into account the sources of Machinery, Labor and Materials, without considering Work Methods, Measurement and Environment. This allows the development of a simulation model is built using the SIMIO software.

Two simulation models are formed: Production Laboratory and Inventory Policies Laboratory in order to develop professional skills. The latter, in addition to the objectives of the subject, results in a generation a repertoire of problems and decisions to be implemented using the simulator, the later will allow to analyze a reflective questions focused on each Laboratory. The question focused on the Production Laboratory proposes to carry out an analysis of the production system through order fulfillment. The question focused on the Inventory Policy Laboratory requires analyzing which inventory policy is more appropriate for the parameters presented: Periodic Order Up To or Reorder Point/Order Quantity Inventory Policy.

Regarding the results, the study is carried out to analyze order fulfillment for the Production Laboratory using the DIFOT indicator and the percentage of use of resources. Three scenarios are carried out: A diagnostic scenario obtaining a DIFOT indicator of 61.2%, a scenario detecting an opportunity for improvement incorporating an Operator resource with a DIFOT indicator 65.69% and a third

scenario improving the Measurement system of the production process and, in addition, adding two resources to avoid generating bottlenecks: a Packaging machine and Operator. A final DIFOT indicator of 84.4% is obtained, improving the indicator approximately 13% with respect to the first scenario.

For the question focused on the Inventory Policies Laboratory, four indicators are used to determine which type of Policy is the most appropriate for the parameters presented. It is determined that the best is the Fixed Order Inventory Policy due to the higher margin obtained with respect to Fixed Period with CLP 456,430. In addition, there is a cost for lack of stock that ratifies the decision with CLP 377,230 applying a policy of Fixed Period with respect to Fixed Order.

An evaluation rubric is presented for learning experiences supported by three pillars for the study: Motivation; Model fidelity and understanding of the concepts to be evaluated.

GLOSARIO

Simio	Simulation Modeling Framework based on Intelligent Objects.
PMT	Project Management Trainer
WIP	Work in process/Trabajos en proceso
DES	Discrete event simulation/Simulación de eventos discreto
ECBC	Enfoque Curricular Basado en Competencias
UTFSM	Universidad Técnica Federico Santa María
CTS	Competencias transversales sello institucionales
ICM	Ingeniería civil mecánica
OEE	Overall Equipment Effectiveness/Eficiencia General de los Equipos
OI	Objeto inteligente
ECS	Emergency Care Simultador
BOM	Bill of materials/Estructura del producto
CS	Cadena de Suministros
TTF	Time To Failures
TTR	Time To Repair
JIT	Metodología Just In Time
DC	Distribution Center
MP	Materia Prima
&&	Condición utilizada en SIMIO para la expresión matemática “y”
e.g.	Por ejemplo
PK	Primary key
FK	Foreign key
DIFOT	Delivery in full, on time
FIFO	First In First Out
LIFO	Last In First Out

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIA	ii
RESUMEN	iii
ABSTRACT.....	v
GLOSARIO	vii
INTRODUCCIÓN	xvii
OBJETIVOS	xix
PLAN DE TRABAJO.....	xx
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 Simulación	1
1.2 Conceptos relacionados con la simulación	2
1.3 Tipos de modelos de simulación.....	4
1.4 Importancia de la simulación	6
1.5 Ventajas y desventajas de la simulación	7
1.6 Aplicaciones de la simulación.....	8
1.7 Modelamiento mediante el software de simulación SIMIO®	8
1.8 Elaboración de un modelo de simulación	13
1.9 Uso de la metodología de simulación para desarrollar competencias profesionales	18
1.10 Aplicaciones de la simulación en el marco de la industria 4.0 dentro de un contexto educacional.....	23
2. LEVANTAMIENTO DE LA INFORMACIÓN DE CRITERIOS DE LABORATORIOS A MODELAR.....	35
2.1 Modelo educativo institucional UTFSM.....	35
2.2 Descripción de los requisitos fundamentales de la asignatura asociadas al laboratorio de simulación de producción y operaciones	40
2.3 Requisitos fundamentales de las experiencias de aprendizaje en laboratorio ...	41
3. DEFINICIÓN DEL MODELO CONCEPTUAL DE LOS MODELOS DE SIMULACIÓN.....	43
3.1 Definición conceptual de las variables a considerar en los laboratorios.....	44
3.2 Propuesta de Laboratorio de Producción para experiencia de aprendizaje	47
3.3 Propuesta de Laboratorio de Políticas de Inventario para experiencia de aprendizaje	51
4. CONSTRUCCIÓN DE LOS MODELOS DE SIMULACIÓN	55
4.1 Construcción del Modelo de Simulación del Laboratorio de Producción	55
4.2 Construcción del Modelo de Simulación de laboratorio de evaluación de políticas de inventario.....	81
5. DESARROLLO DE ESCENARIOS Y EXPERIMENTACIÓN.....	94

5.1	Preguntas de reflexión que son posibles de plantear para evaluar competencias	94
5.2	Experimentación escenario de políticas de inventario	97
5.3	Experimentación escenario laboratorio de Producción.....	111
6.	PROPUESTA DE EVALUACIÓN DE LA EXPERIENCIA DE APRENDIZAJE	130
6.1	Elección de la estructura de la encuesta.....	130
6.2	Elección de los tópicos a evaluar mediante Likert.....	131
	CONCLUSIONES	137
	BIBLIOGRAFÍA	142

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama de caja negra para variables input y output en un modelo de estudio [2].....	4
Figura 2: Ejemplo de un posible problema simulado en SIMIO [4].....	9
Figura 3: Clases básicas de objetos en SIMIO y su jerarquía [4].	10
Figura 4: Imagen de los resultados mediante Pivot Grid que arroja SIMIO [4].	13
Figura 5: Diagrama de flujos del proceso de simulación [1].	14
Figura 6: Diagrama de procesos de manufactura de mármol [9].	25
Figura 7: Simulación de un proceso de mármol [9].....	26
Figura 8: Diferencia de medias para pretest aplicando una metodología tradicional y una metodología alterna [11].	29
Figura 9: Diferencia de medias para postest aplicando una metodología tradicional y una metodología alterna [11].	30
Figura 10: Diseño del caso de estudio de las fases de aplicación del modelo de simulación [12].....	33
Figura 11: Proceso para la elaboración del modelo de Certificación de CTS – USM [13].	39
Figura 12: Esquema conceptual de Herramienta de Simulación para el desarrollo de competencias y evaluación de resultados de aprendizaje (Elaboración propia).	41
Figura 13: Estructura de la lógica de funcionamiento de empresa productiva.	49
Figura 14: Estructura de la lógica de funcionamiento de cadena de suministros.....	53
Figura 15: Representación de las tablas de datos relacionadas en el modelo de producción.	58
Figura 16: Pasos a seguir para ingreso de data a cada tabla utilizada en el modelo de simulación.	58
Figura 17: Forma de incorporar la información de las planillas Excel de manera manual.	59
Figura 18: Representación de la fábrica de producción al momento de ingresar la data a las tablas mencionadas.	59
Figura 19: Lógica de funcionamiento de las paradas no programadas para el objeto máquina.....	60
Figura 20: Esquema de vista de las propiedades AssignmentsOnFailed y AssignmentsOnRepaired en objeto máquina una vez ingresado el objeto en la Facility View.....	61
Figura 21: Asignación eficiencia operador a trabajo respectivo.....	66
Figura 22: Modelación del proceso de llegada tarde de los operadores al puesto de trabajo al inicio de cada turno.	67
Figura 23: Modelación para el proceso (Ocupar – Liberar) de los operadores asignados a cada proceso de operación.	68

Figura 24: Visualización lista TipoTrabajo, utilizada para comparar el status de las órdenes de trabajo.	70
Figura 25: Proceso de búsqueda de trabajos WIP.....	72
Figura 26: Monitor creado con las propiedades señaladas en Tabla 19.....	74
Figura 27: Proceso que permite reabastecer al material X por medio del Monitor MonitorRawMaterialX.....	74
Figura 28: Proceso de extracción de datos para el objeto operador.....	77
Figura 29: Proceso de extracción de datos para el objeto Máquina.....	77
Figura 30: Ingreso de parámetros de salida a tabla Trabajos Programados.....	80
Figura 31: Modificación proceso lógica de falla objetos Mesa y Operador.	83
Figura 32: Representación del objeto Fila espera.....	83
Figura 33: Único proceso objeto Fila Espera.....	85
Figura 34: Parte del proceso de satisfacción de la demanda del objeto Mesa.....	89
Figura 35: Proceso asociado a política de inventario de periodo fijo.....	90
Figura 36: Proceso de emisión de la orden de reaprovisionamiento.....	91
Figura 37: Proceso de creación Entidad Producto.....	92
Figura 38: Proceso de asignación de inventario inicial y creación de la entidad Producto.....	92
Figura 39: Distribución lógica del funcionamiento del escenario de políticas de inventario.....	98
Figura 40: Tipo de resultados de variabilidad de una variable de estado a medida que varían las repeticiones en un modelo de simulación.....	103
Figura 41: Distribución lógica de funcionamiento de máquinas propuesta de laboratorio de Producción del escenario.....	112
Figura 42: Estructura de producto para el Material A que se considera tanto para el escenario propuesto.....	114
Figura 43: Estructura de producto para el Material D que se considera tanto para el escenario propuesto.....	114
Figura 44: Estructura de producto para el Material E que se considera para el escenario propuesto.....	114
Figura 45: Porcentaje de uso de recursos para el primer escenario del laboratorio de Producción según un tiempo total de simulación (2.880 horas).....	124
Figura 46: Porcentaje de uso de recursos para el tercer escenario del laboratorio de Producción según un tiempo total de simulación (2.880 horas).....	126
Figura 47: Incorporación de información a Tabla Nodos Máquina para generar que recursos Empaque trabajen en paralelo.....	128
Figura 48: Porcentaje de uso de recursos para el tercer escenario del laboratorio de Producción según un tiempo total de simulación (2.880 horas).....	128
Figura 49: Comparación de los resultados de DIFOT para los tres escenarios de laboratorio de Producción planteados.....	129

Figura 50: Objetivos generales y específicos para la encuesta con escala de puntuación Likert.....	132
Figura 51: Propiedades de la columna Tipo entidad.....	145

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Encuesta de nivel de satisfacción mediante escala Likert a 2 cursos distintos de estudiantes mediante el uso del simulador [9].	26
Tabla 2: Variables que se consideran en la definición del modelo conceptual en relación con la Materia Prima.	45
Tabla 3: Variables que se consideran en la definición del modelo conceptual en relación con la Mano de Obra.	45
Tabla 4: Variables que se consideran en la definición del modelo conceptual en relación con la Maquinaria.	46
Tabla 5: Variables que se consideran en la definición del modelo conceptual en relación con la Calidad.	46
Tabla 6: Descripción de las actividades de flujo físico del proceso lógico productivo.	50
Tabla 7: Descripción de las actividades de flujo de datos del proceso lógico productivo.	50
Tabla 8: Descripción de las actividades de flujo de datos del proceso lógico de la cadena de suministros.	53
Tabla 9: Representación de los objetos reales asociados con OI personalizado creado en SIMIO.	56
Tabla 10: Detalle de la creación de las propiedades para la falla del equipo.	61
Tabla 11: Sub – Propiedades para AssignmentsOnFailed que permiten escribir valores a variables de estado.	62
Tabla 12: Propiedades asignadas del objeto máquina.	62
Tabla 13: Processing Tasks definidas para el objeto máquina.	64
Tabla 14: Propiedades asignadas del objeto Operador.	65
Tabla 15: Definición variables eficienciaOperador y FraccionRestante en Objeto Model Entity con el objetivo de llevar información de la orden de trabajo.	66
Tabla 16: Propiedades del operador para llevar la información requerida hacia el modelo general.	68
Tabla 17: Propiedades asignadas del objeto Entrada Orden.	69
Tabla 18: Propiedades asignadas al objeto Unión.	71
Tabla 19: Propiedades referenciadas para los monitores creados en el proceso de reaprovisionamiento de materiales del modelo.	73
Tabla 20: Variables de estado definidas para el proceso de extracción de datos.	76
Tabla 21: Asignación de variables de estado para el proceso de extracción de datos.	76
Tabla 22: Procesos referenciados a cada proceso.	78
Tabla 23: variables de estado asignadas por propiedades State Assignments en Máquina.	78
Tabla 24: variables de estado asignadas por propiedades State Assignments en Operador.	79

Tabla 25: Asignación de datos para las variables de estado en el proceso final de calidad.	80
Tabla 26: Propiedades referenciadas objeto Fila espera.	84
Tabla 27: Valores asignados a las propiedades referenciadas para el objeto Combiner... 85	
Tabla 28: Propiedades modelo de políticas de inventario.....	87
Tabla 29: Variables de estado del laboratorio de políticas de inventario.....	88
Tabla 30:Tiempo de procesamiento de la orden en minutos para el laboratorio de inventario.	99
Tabla 31: Propuesta de cantidad de manejo de materias primas para el escenario propuesto del laboratorio de políticas de inventario.....	100
Tabla 32: Distribución de la frecuencia de demanda en horas para el escenario propuesto de políticas de inventario.	100
Tabla 33:Distribución de tiempos en días de transporte para el producto desde proveedor a bodega oficina de ventas en propuesta de laboratorio de políticas de inventario.	101
Tabla 34: Parámetros para los costos en CLP asociados al inventario en la propuesta de política de inventario.....	101
Tabla 35: Tabla de distribución de probabilidad Y de abandono de fila dependiente de una cantidad X de personas.	102
Tabla 36: Distribución del tiempo de buen funcionamiento (MTBF) en horas del operador y el objeto de procesamiento para el laboratorio de políticas de inventario.	102
Tabla 37: Resultados para las repeticiones del escenario de simulación de política de inventario de pedido fijo respecto a la cantidad de órdenes satisfechas y cantidad de producto despachado.....	104
Tabla 38: Resultados para las repeticiones del escenario de simulación de política de inventario de pedido fijo respecto a los niveles medios de inventario en bodega y nivel de inventario total (bodega + tránsito).....	106
Tabla 39: Resultados para las repeticiones del escenario de simulación de política de inventario de periodo fijo respecto a la cantidad de órdenes satisfechas y cantidad de producto despachado.....	107
Tabla 40: Resultados para las repeticiones del escenario de simulación de política de inventario de periodo fijo respecto a los niveles medios de inventario en bodega y nivel de inventario total (bodega + tránsito).....	107
Tabla 41: Costos globales; faltante y cantidad de venta total para las políticas de pedido y periodo fijo en el escenario presentado.....	110
Tabla 42: Referencia cartesiana en un plano XZ para la distribución de las máquinas en el taller.	113
Tabla 43: Secuencia de trabajos del escenario propuesto	113
Tabla 44: Cantidad de operadores considerados en el escenario junto con las áreas de proceso requeridos.	115
Tabla 45: Distribución del tiempo de proceso en minutos por unidad para las máquinas que se consideran en los escenarios propuestos.....	116
Tabla 46: Funciones de distribución de probabilidad de eficiencia para cada una de las máquinas para el laboratorio de manufactura.	117

Tabla 47: Probabilidad de llegar tarde a cada turno y tasa de la cantidad de minutos tarde por operador para escenario de laboratorio de manufactura.	117
Tabla 48: Parámetros de eficiencia operacional y rapidez de desplazamiento para cada operador para el escenario de simulación de manufactura.....	117
Tabla 49:Propuesta de cantidad de manejo de materias primas para el escenario propuesto del laboratorio de Producción.	118
Tabla 50: Fecha solicitud de órdenes para la propuesta de laboratorio de producción... ..	118
Tabla 51: Plantilla automatizada en Excel para las órdenes de trabajo.	119
Tabla 52: Función de distribución de probabilidad de tiempo para cada material transportado desde el Abastecimiento de materiales hasta la planta.....	120
Tabla 53: Tasa de rechazo de los productos terminados en laboratorio de Producción..	120
Tabla 54: Costos por uso de materia prima en CLP para escenario de laboratorio de producción.....	121
Tabla 55: Costos por uso de máquinas por hora en CLP para escenario de laboratorio de manufactura.....	121
Tabla 56:Costos por uso de operarios en CLP para escenario de laboratorio de producción.	121
Tabla 57: Distribución del tiempo de buen funcionamiento (MTBF) por cada máquina utilizada en el laboratorio de producción.....	122
Tabla 58: Distribución del tiempo para reparar (MTTR) por cada máquina utilizada en el laboratorio de producción.	122
Tabla 59: Resultados de órdenes de producción para el primer escenario de producción dentro del tiempo de simulación de 16 semanas.....	124
Tabla 60: Parámetros asignados al Operador 3.....	125
Tabla 61: Resultados de órdenes de producción para el segundo escenario de producción dentro del tiempo de simulación de 16 semanas.....	127
Tabla 62: Nuevos valores para las tasas de rechazo de los productos para el laboratorio de producción.....	128
Tabla 63: Resultados de órdenes de producción para el tercer escenario de producción dentro del tiempo de simulación de 16 semanas.....	129
Tabla 64:Afirmaciones a encuestar para el objetivo general asociado a la motivación respecto al primer objetivo específico.	133
Tabla 65: Afirmaciones a encuestar para el objetivo general asociado a la motivación respecto al segundo objetivo específico.....	133
Tabla 66: Afirmaciones a encuestar para el objetivo general asociado a la evaluación de la fidelidad del modelo respecto al objetivo específico planteado.....	133
Tabla 67: Afirmaciones a encuestar para el objetivo general asociado a la percepción subjetiva del entendimiento respecto al primer objetivo específico.	134
Tabla 68: Afirmaciones a encuestar para el objetivo general asociado a la percepción subjetiva del entendimiento respecto al segundo objetivo específico.....	134
Tabla 69: Afirmaciones a encuestar para el objetivo general asociado a la percepción subjetiva del entendimiento respecto al tercer objetivo específico.....	135

Tabla 70: Descripción cada columna de la tabla Partes.....	145
Tabla 71: Descripción cada columna de la tabla Secuencia.	146
Tabla 72: Descripción cada columna de la tabla Materiales.....	147
Tabla 73: Descripción cada columna de la tabla BOM.....	147
Tabla 74: Descripción cada columna de la tabla Inventario.	147
Tabla 75: Descripción cada columna de la tabla Objetos modelo.	148
Tabla 76: Descripción cada columna de la tabla Nodos máquina.....	149
Tabla 77: Descripción cada columna de la tabla Trabajos programados.....	150
Tabla 78: Descripción cada columna de la tabla Operador.....	151
Tabla 79: Descripción cada columna de la tabla WIP.	152
Tabla 80: Processing tasks de la secuencia Consumo.....	153
Tabla 81: Processing tasks de la secuencia Setup.....	154
Tabla 82:Processing tasks para la secuencia Process.....	156
Tabla 83: Processing tasks de la secuencia Teardown.....	157
Tabla 84: Processing tasks de la secuencia Produce.....	158
Tabla 85: Variables de salida para objeto máquina.	160
Tabla 86: Variables de salida para objeto operador.	160

INTRODUCCIÓN

¿Es posible dibujar un círculo a mano alzada que sea idéntico a otro que se dibuje posteriormente?

En general las variables que definen la ejecución del dibujo – tamaño, diámetro, grosor, entre otros – difieren de uno a otro.

De modo similar, los procesos productivos y de operaciones a nivel empresarial se comportan de diferente manera, ya que las variables aleatorias presentes en el sistema influyen sobre estos. Así, es fundamental poder predecirlas, para tener control sobre dichos procesos. En la industria, el personal está en constante relación con este tipo de procesos y es capaz de comprender esta variabilidad a través de la experiencia.

De manera contraria, en la formación de profesionales, los estudiantes no están constantemente desarrollando habilidades que permitan entender de mejor manera la variabilidad de los procesos productivos, ya que, por distintos factores, les es difícil poder acercarse a ellos. Sin embargo, existen herramientas que permiten un acercamiento a problemas empresariales con variables aleatorias y una de ellas es la simulación.

El presente trabajo busca presentar una propuesta de herramientas de aprendizaje mediante Simulación de Eventos Discretos (DES) para la asignatura de Gestión de Producción y Operaciones, en donde se busca que los estudiantes desarrollen habilidades y competencias profesionales específicas a través de esta.

Las herramientas de aprendizaje tienen como objetivo que los estudiantes puedan diagnosticar, analizar y realizar mejoras a los distintos modelos planteados y por medio de un ambiente de enseñanza, desarrollar las competencias de gestión declaradas en el perfil de egreso.

La implementación de las herramientas de aprendizaje se realiza mediante el software de simulación SIMIO®. Esta es una plataforma con un enfoque orientado a objetos y gracias a una relación que se establece entre estos, permite desarrollar distintos escenarios productivos por medio de variables aleatorias.

OBJETIVOS

El objetivo general de este Trabajo de título es desarrollar un modelo computacional de simulación de escenarios de procesos productivos para fortalecer competencias en gestión de producción y operaciones, utilizando simulación de eventos discretos (DES), que permita apoyar el proceso de enseñanza – aprendizaje y evaluar el logro de esas competencias.

Para lograr el propósito antes señalado se proponen los siguientes objetivos específicos:

- Definir los requerimientos y restricciones del modelo computacional de simulación de eventos discretos (DES), de acuerdo con los objetivos de aprendizaje relacionados a las competencias de ser apoyadas.
- Realizar el diseño lógico del sistema de producción y operaciones a implementar en el modelo de simulación, que permita lograr los objetivos de aprendizaje definidos.
- Realizar el modelo computacional de simulación, mediante la metodología de modelamiento DES, utilizando el software SIMIO®.
- Proponer el repertorio de escenarios, problemas y decisiones a implementar en el simulador desarrollado.
- Presentar una rúbrica de evaluación de la experiencia de aprendizaje implementada en el simulador, para validar la herramienta y su aplicación.

PLAN DE TRABAJO

En el plan de trabajo definido para lograr los objetivos del trabajo de investigación, se considera una estructura y metodología de simulación, en un contexto académico que busca generar un desarrollo de herramientas de aprendizaje.

1. **Marco teórico.** Este capítulo presenta la definición, historia y tipos de los modelos de simulación. Asimismo, se puntualizan las aplicaciones y ventajas que existen al utilizar este tipo de metodología, como también las etapas de un proceso típico de la elaboración de un modelo de simulación. A su vez, se expone acerca de la aplicación del software de simulación SIMIO. Por último, se presenta el uso de la metodología de simulación en un ámbito educativo y el desarrollo de competencias universitarias.
2. **Levantamiento de información de laboratorios a modelar.** En este capítulo se presenta el sistema de evaluación de UTFSM y su enfoque basado en competencias. Además, se exponen las competencias del perfil de egreso del Ingeniero Mecánico y se entregan los requisitos fundamentales que requiere la implementación de una herramienta de aprendizaje en el marco de la asignatura de “Gestión de Producción y Operaciones”.
3. **Modelamiento conceptual.** En esta etapa, se definen las fuentes de variabilidad a considerar en las propuestas de laboratorios; la cantidad de modelos de simulación y las variables que considera cada uno de éstos.
4. **Construcción del modelo.** En este capítulo se realiza y se describe la construcción de las propuestas de laboratorio con todos los objetos considerados en el modelo conceptual. Se definen los procesos a considerar y la relación que poseen los objetos utilizados con el dinamismo del modelo, para poder desarrollar las competencias de un Ingeniero Mecánico. También

se presentan las propiedades y variables de estado que definen cada uno de los objetos y modelos. Por último, se exhibe el proceso de extracción de la data para que los estudiantes puedan diagnosticar y analizar la información.

5. **Desarrollo de escenarios y experimentación.** En esta etapa se formulan los escenarios de experimentación que serán la base de las actividades de aprendizaje asistido por simulación. Por otra parte, se presentan los escenarios específicos que se utilizan para validar los modelos de simulación como herramientas de aprendizaje, donde se presentan los parámetros y variables de entrada a considerar para cada una de las propuestas de laboratorio. Esto, con la finalidad de poder ejemplificar el potencial de cada una de las herramientas de aprendizaje y aplicarlo a cada área de contenidos vistos en la asignatura de “Gestión de Producción y Operaciones”.
6. **Verificación y presentación de la evaluación de la experiencia de aprendizaje.** Este capítulo propone la forma de evaluación de la implementación de las actividades de aprendizaje basadas en simulación. Se presentan instrumentos de evaluación tipo cuestionarios, para analizar el uso y el beneficio de los modelos de simulación en el aprendizaje.

1. MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se establecen las bases sobre la simulación de eventos discretos. Se presenta la definición, la estructura lógica de un proceso de simulación de eventos discretos, el modelamiento, y la metodología de aplicación. Además, se presenta la herramienta de simulación computacional SIMIO®, sus características principales, sus ventajas y potencialidades. Por último, se presentan ejemplos de herramientas de simulación en el ámbito académico en carreras de educación superior.

1.1 Simulación

Se entiende por simulación como una *“metodología de resolución de problemas indispensable para la solución de muchos problemas de la vida real”* [1], obteniendo resultados que son relativamente económicos en términos de los tiempos y costos, respecto a lo que implica realizar el ensayo de forma real. La ventaja que posee la simulación, además de los costos y del tiempo asociado, es la posibilidad de pronosticar distintos escenarios al tomar decisiones productivas o de operaciones y analizar cuál alternativa es el que la mejor favorece a la empresa.

La simulación, según Sturrock, Kelton, Smith y Muñoz, es *“la Imitación de la operación de un sistema y de sus procesos internos, a menudo sobre el tiempo y en el nivel de detalle que es apropiado para extraer conclusiones acerca del comportamiento del sistema”* [2]. Así, la simulación permite evaluar una gama de escenarios sin la necesidad de ensayar con ellos en el sistema real. Gracias a la simulación, las empresas pueden ahorrar dinero de ejecución y tiempo, y llegar a conclusiones respecto a los distintos resultados obtenidos mediante la simulación. En general, la simulación se utiliza para evaluar el escenario actual de proceso, como a su vez los posibles escenarios y evaluar su desempeño de futuros sistemas.

1.2 Conceptos relacionados con la simulación

A continuación, se definen una serie de conceptos claves necesarios para abordar los problemas de simulación.

Un **sistema**, como lo define Sturrock, Kelton, Smith y Muñoz, es:

“Conjunto de componentes relacionados que trabajan juntos para lograr un propósito común. Un sistema puede ser algo tan simple como una línea de espera en un cajero automático, o tan complejo como un aeropuerto completo o una red de distribución mundial. En cualquiera de estos sistemas, existente o imaginario, resulta natural, y a veces esencial, el entender cómo se comportará o cuál será su desempeño bajo diferentes configuraciones y circunstancias” [2].

Dentro de esta definición, los autores hablan de las fronteras o el alcance del conjunto que se estudia. Además, definen las variables que están dentro del proceso como las interacciones que sufren los componentes dentro del sistema.

Gazmuri define: un **evento** como *“todos aquellos hechos que ocurren en el sistema real que producen un cambio en las variables de estado”* [3]. Así, se definen cambios dentro del sistema que se estudia. Además, es posible distinguir dos posibles tipos de eventos: discretos y continuos. Un **evento discreto** es aquél en que *“el cambio en las variables de estado se produce en instantes perfectamente definidos en el tiempo”* [3]. A su vez un **evento continuo** habla sobre *“las variables están cambiando de valor en todo instante”* [3].

Las **variables de estado** son aquellas que son capaces de describir el estado del sistema en cualquier momento de tiempo que se esté simulando. Estas variables son intrínsecas del proceso y, por lo tanto, son las que se ven afectadas frente a los cambios en un evento u otra acción [2].

El **tiempo de simulación** o **reloj** es la variable que representa el valor del tiempo simulado actual, donde es modificado a medida que se va avanzando con la simulación y es posible verlo en todo el modelo de manera global [2].

Un **modelo**, según Sturrock, Kelton, Smith y Muñoz, “*Es una representación de un sistema para ganar un entendimiento del mismo*” [2]. Por lo tanto, para poder definir un modelo, primero que todo, se debe tener en cuenta el alcance o las fronteras del sistema, así como el nivel de detalle que se quiere alcanzar con el estudio. Además, el modelo debe ser lo más parecido al sistema real, por lo que, mientras más complejo y detallado sea el modelo, mejores resultados se lograrán en el estudio mediante la simulación. Naturalmente, éste debe ser definido según los resultados que se quieren obtener, siendo ese el gran desafío.

Una **entidad** es aquel objeto, ser humano, máquina, materia prima, WIP, producto terminado, entre otros, que fluye a través del sistema y, por consiguiente, del modelo [2].

Por último, la **Simulación de Eventos Discretos** (DES) busca modelar sistemas de operaciones mediante instantes de tiempo en los que es posible que cambie el estado del sistema. En este tipo de simulaciones, no existe un cambio en el sistema entre dos eventos consecutivos.

Dentro de un modelo de simulación, es posible definir una estructura de caja negra tal y como lo muestra la Figura 1, en la que entran las variables aleatorias asociadas a ese sistema con cierto valor determinado y, en consecuencia, resultan estas variables aleatorias con otros resultados. Se definen a las variables de entrada a variables input; y a las variables de salida, como variables output. El primer tipo de variable es el que describe las condiciones de operación del proceso e incluye tanto las variables controlables como las que no son controlables, por lo que le dan el carácter dinámico al sistema. Por otra parte, las variables output son las características de la calidad, siendo aquellas las que reflejan los resultados del proceso. Comúnmente este tipo de variables se conocen como “la voz del proceso”.



Figura 1: Diagrama de caja negra para variables input y output en un modelo de estudio [2].

1.3 Tipos de modelos de simulación

Es lógico inferir que dependiendo de la estructura del sistema que se analice, es posible identificar distintos tipos de estructuras de modelamiento. Así, para Allen, Dean y Otamendi [4], es posible identificar tres tipos, según sus categorías: modelos Estáticos y Dinámicos; modelos Estocásticos y Determinísticos; modelos Discretos y Continuos.

1.3.1 Modelos estáticos y dinámicos

Según Allen, Dean y Otamendi [4], los modelos de simulación estáticos son aquellos que a medida que avanza el tiempo, éste no es un factor clave en la planificación, programación, operación y ejecución del modelo. Ejemplos de estos tipos de modelos son los que describen las apuestas, como la lotería o el lanzamiento de dados. En este tipo de modelados puede existir la noción del tiempo, mientras no afecte los acontecimientos posteriores durante la operación del modelo.

Por otro lado, los modelos dinámicos son aquellos en los que, el transcurso del tiempo forma parte importante dentro del modelo, ya que sin este factor no es posible obtener respuestas asimilables al caso de estudio. Ejemplos de este tipo de modelos son aquellos que representan cadenas de suministros, donde el transporte y modelos de inventario son típicos modelos de simulaciones dinámicas, en los que influyen las entregas, el movimiento y salida de las órdenes en el tiempo.

1.3.2 Modelos determinísticos y aleatorios o estocásticos

Un modelo es determinístico cuando las variables que están presentes en el modelo de simulación son constantes en el tiempo. Es decir, no poseen ninguna característica probabilística o no presenta ninguna aleatoriedad. Este tipo de modelo se define solamente en función de los valores iniciales que se adoptan en el problema, así como de la interacción que sucede entre las variables. De este modo, e independiente de la cantidad de experimentos que sufra el modelo, siempre se obtendrá la misma respuesta. Si se quiere obtener resultados distintos, es necesario cambiar los valores iniciales del modelo. Sin embargo, la mayoría de los modelos presentan variables aleatorias y por eso son estocásticos. Se define un modelo estocástico cuando las variables o componentes del sistema se comportan de forma aleatoria en función del tiempo. La especificación de los datos probabilísticos de entrada son parte de la creación del modelo de simulación. Por lo tanto, en este caso es posible estudiar el sistema solamente en términos de las probabilidades y el tiempo de ejecución, obteniendo por cada experimento que se ejecute, un posible resultado y un aprendizaje de éste [4].

1.3.3 Modelos continuos y discretos

Para Allen, Dean y Otamendi [4], los términos continuo y discreto tratan acerca de la naturaleza del cambio de las variables de estado según como lo define un sistema. Un modelo es continuo cuando las variables que lo definen cambian constantemente a medida que varía el tiempo y se definen a partir de ecuaciones diferenciales que se evalúan mediante una tasa de cambio. Un ejemplo de este tipo de simulación es el modelamiento del llenado de agua de un estanque: al definir el nivel de agua del tanque como variable de estado, es posible evidenciar que, en pequeños, incluso infinitesimales transcurso de tiempo, este nivel varía.

Por otra parte, un modelo es discreto cuando las variables que lo definen son capaces de cambiar solamente en instantes determinados del tiempo y de forma

abrupta, como, por ejemplo, las líneas de producción, cadenas de suministro, cadenas de comida rápida, entre otros.

Existen sistemas que son continuos y discretos en ciertos transcurso de tiempo. Este tipo de modelo se conoce como modelos híbridos. Para este tipo de sistemas tan complejos, es importante determinar cuál es el tipo de modelo predominante en el mismo, dependiendo de los objetivos a estudiar.

1.4 Importancia de la simulación

La simulación es necesaria cuando el sistema que se requiere estudiar es demasiado complejo para estudiarlo mediante un modelo de análisis matemático. Esa complejidad, según García y Ortega [5], puede deberse a dos causas:

1. Cuando se trata de sistemas discretos, muchas veces las entidades y variables de estado que se presentan, poseen distribuciones probabilísticas complejas. En estos casos, resulta extremadamente difícil realizar modelos de análisis matemáticos, debido a la función de distribución presente por cada variable aleatoria.
2. En el mundo de los sistemas continuos, generalmente se observa que las variables de estado son el resultado de los diferenciales de cambio de otra variable de estado presente en el sistema. Si bien la formulación analítica de un modelo matemático puede ser capaz de definir estas tasas de cambio, es bastante común que las ecuaciones que quedan sean del tipo no lineales y, por lo tanto, la resolución del sistema termina siendo muy compleja para este tipo de metodología.

Como se dijo anteriormente, suele observarse la presencia de un modelo híbrido, en donde conviven ambos tipos de modelo. En este caso, el sistema se transforma en uno de mayor complejidad al momento de resolverlo mediante métodos matemáticos analíticos [5]

1.5 Ventajas y desventajas de la simulación

Si el modelo que se requiere estudiar resulta ser muy complejo, una de las alternativas para analizarlo es la simulación. Debido a esto, es necesario discutir las ventajas y desventajas que permiten el uso de la simulación [5].

Las ventajas que se pueden establecer son las siguientes:

1. Al trabajar con un sistema real es difícil mantener un control sobre las componentes que configuran al sistema.
2. El estudio del comportamiento de un sistema se basa en condiciones determinadas de operación.
3. Es posible realizar una serie de experimentos en el software de simulación y comparar dichos resultados analizando cuál es la solución que satisface de mejor manera los objetivos planteados.
4. Permite un manejo del tiempo de manera conveniente. En algunas ocasiones se requiere apresurar los tiempos de experimentación en los casos que el desenvolvimiento del modelo es lento, mientras que, en otras ocasiones se requerirá dilatar el tiempo, especialmente cuando los modelos se ejecutan de manera extremadamente rápida.

Las desventajas que se pueden establecer son las siguientes:

1. Dado que las variables se comportan mediante modelos estocásticos, el sistema arrojará siempre resultados distintos.
2. Es necesario contar con personal experimentado en el uso del software en cuestión ya que, sino, no se logrará un modelo acertado que ayude a tomar decisiones correctas.
3. El modelo depende necesariamente del detalle de conclusiones que se quieren lograr. Sin embargo, si el modelo desarrollado no es lo suficientemente parecido al sistema objeto de estudio, las conclusiones que se obtendrán no serán correctas.

1.6 Aplicaciones de la simulación

El uso de la simulación busca dar soluciones a mecanismos complejos que son difíciles de estudiar linealmente. Algunos campos de aplicación de la simulación según Kelton, Smith, Sturrock y Muñoz [2] son:

1. Aeropuertos.
2. Hospitales.
3. Puertos.
4. Minería.
5. Parques de diversiones.
6. Centrales telefónicas.
7. Cadena de suministros.
8. Manufactura.
9. Defensa.
10. Telecomunicaciones.
11. Sistema de administración de la justicia.
12. Sistemas de respuesta de emergencia.
13. Sector público.
14. Servicio al cliente.

1.7 Modelamiento mediante el software de simulación SIMIO®

SIMIO® permite estudiar procesos productivos y de operaciones mediante la metodología de simulación. Permite, dependiendo de su objetivo, combinar la “simulación orientada a objetos” mediante DES, la simulación de eventos discretos y la simulación basada en agentes. Para la construcción de los modelos, se incorporan objetos, representaciones virtuales de objetos reales. Los objetos que se incorporan en el modelo siguen características, propiedades y un comportamiento de acuerdo con la situación que se quiera simular. Estos no son únicos, sino que se pueden almacenar en la biblioteca del programa y pueden ser usados para distintas situaciones que se requieran modelar. A diferencia de otros softwares de simulación

como Arena, donde primero se debe crear los procesos que permiten la interacción de los objetos, en SIMIO es posible ir construyendo el modelo a medida que se incorporan los objetos [2].

En la Figura 2, es posible apreciar un ejemplo concreto de cómo la interfaz didáctica permite entender al observador el sistema que se está modelando. Gracias a esto, es posible comprender de mejor forma la lógica externa y así, permitirle al operador del modelo explicarlo de mejor manera.

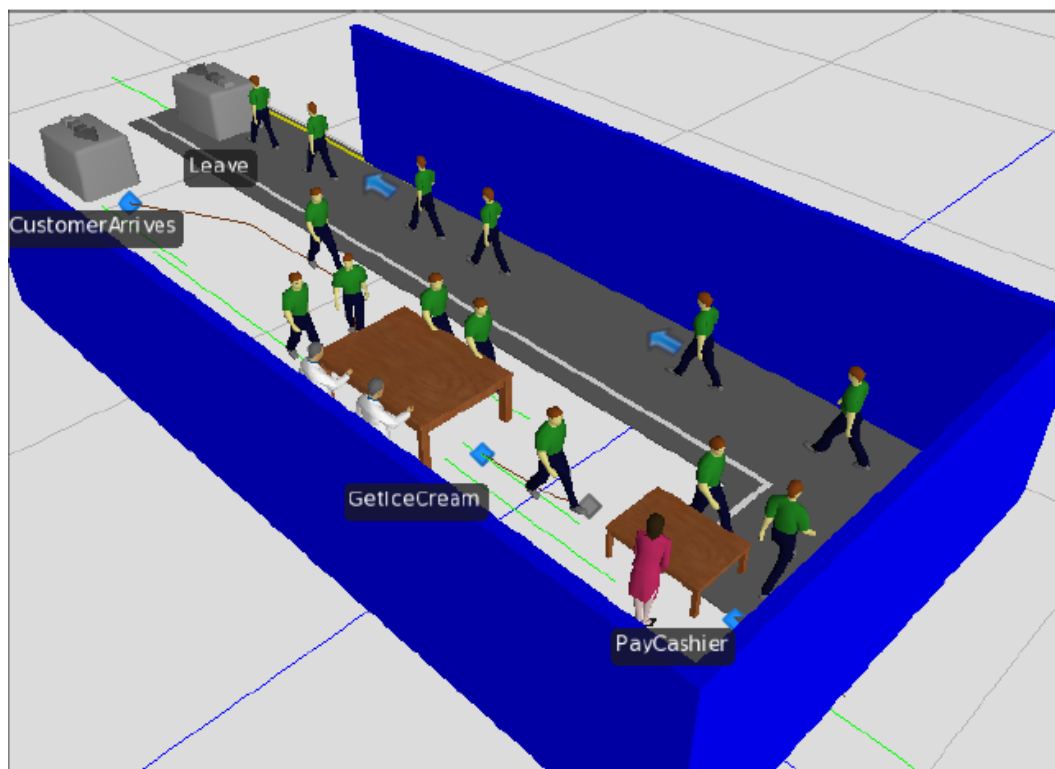


Figura 2: Ejemplo de un posible problema simulado en SIMIO [4].

1.7.1 Clases y jerarquía de objetos en SIMIO

Los objetos son representaciones virtuales de objetos reales, obedeciendo a la estructura y forma de categorías de objetos reales que se encuentran en la industria. Gracias a la biblioteca de SIMIO, es posible almacenar un sinnúmero de objetos, tales como carros, autobuses, unidades de transporte y clientes, entre otros. Sin embargo, poseen poca inteligencia nativa, es decir, comportamientos estándar

de modelos tradicionales de producción y operaciones, pero con una gran capacidad de incorporar comportamientos atípicos al sistema real que se requiere modelar [2]. Si la representación virtual del objeto real en SIMIO, que se requiere simular, no se encuentra en la biblioteca interna, es posible incorporarlo mediante la web del software, en la que la comunidad usuaria del programa comparte imágenes que materializan objetos reales capaces de ser importados.

SIMIO dispone de siete clases de objetos básicos tal como se aprecia en la Figura 3, y que mediante su interacción, permite simular un sistema real. También, se muestra la jerarquía y dependencia que poseen los objetos.

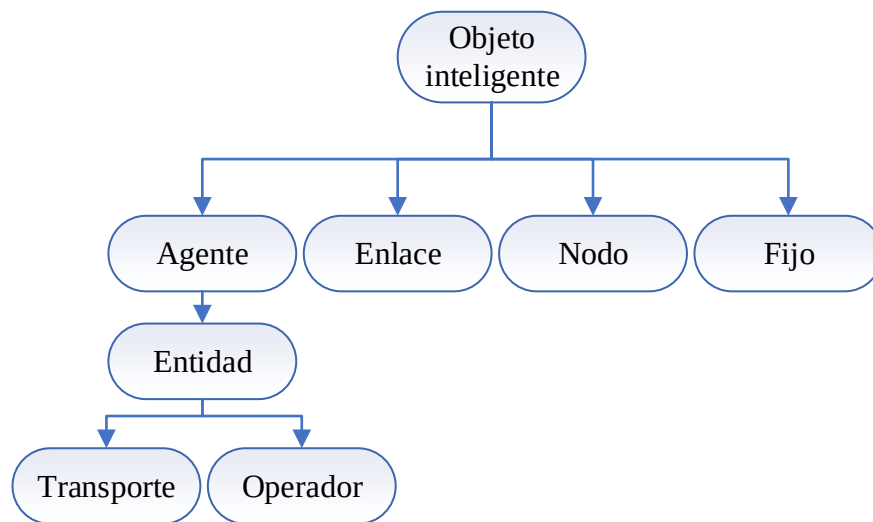


Figura 3: Clases básicas de objetos en SIMIO y su jerarquía [4].

En la biblioteca estándar que está incluida en el software, se encuentran una serie de objetos que se derivan de estas siete clases de objetos básicos. El diagrama empieza con la clase objeto inteligente (OI) que entrega a los objetos la habilidad de quedar en calidad de poder ser utilizado y liberado a medida que responden a la programación hecha (lógica Captura–Demora–Libera). Esta habilidad es parte de los siete objetos básicos que están presentes en la Figura 3.

La primera clase de OI es el Objeto Fijo. La característica principal de este objeto es que, como su nombre lo indica, está fijo en el modelo y es capaz de

reproducir partes del sistema – o el sistema en su totalidad – que no se pueden mover de un sitio a otro, como suelen ser las máquinas o los edificios [4].

La clase Agente se refiere a objetos que son capaces de trasladarse de forma libre en la zona 3D, así como también siguiendo caminos específicos asignados por el usuario y que son implementados para generar modelos basados en agentes [4].

La clase Enlace da la posibilidad de dar un canal para que de la clase Entidad entren, salgan o se muevan. Sin embargo, la clase Enlace no puede actuar de forma independiente. Por su parte, la clase Nodo son puntos fijos, ya sea de partida o de fin a los caminos de clase Enlace [4].

SIMIO posee la capacidad de ampliar la inteligencia nativa de estos objetos básicos y añadir propiedades para asemejar de manera detallada al sistema a estudiar. Este tipo de mecanismo es denominado subclase. Es posible crear subclases de estos objetos mediante procesos lógicos distintos a los originales con la finalidad de generar un adecuado modelo de simulación.

1.7.2 Resultados de simulación en SIMIO

Los resultados en el software pueden ser presentados en cualquier momento de la simulación, ya sea cuando se ha terminado, o generando una parada a la simulación.

Para ver los resultados, se pueden usar dos maneras distintas, denominadas: Pivot Grid o Reports. La ventana Report entrega un informe escrito de los resultados de manera detallada. La manera Pivot Grid, en cambio, es un formato más amigable para apreciar los resultados, dado que es fácil encontrar resultados específicos de manera flexible, tal y como lo muestra la Figura 4. La ventaja de utilizar el formato Pivot Grid es que es posible exportar el archivo a uno de formato texto CSV (Comma – Separated Values), siendo también posible importarlo, a una planilla Excel, por ejemplo [4].

Cada columna en el formato de reporte Pivot Grid contiene los siguientes valores base de salida [2]:

- | | |
|----------------|--------------|
| 1. Object Type | 4. Data Item |
| 2. Object Name | 5. Statistic |
| 3. Data Source | 6. Category |

Además, el formato Pivot Grid posee la capacidad de entregar tres formas distintas de manipulación de datos:

1. Agrupamiento: Es posible agrupar de forma distinta los datos, arrastrando los encabezados de las columnas a posiciones diferentes a las que en ese momento se encuentren vigentes.
2. Ordenamiento: Es factible ordenar de forma ascendente o descendente los datos, haciendo click en la primera celda de la columna o encabezado de ésta.
3. Filtrado: Es posible filtrar los datos a la necesidad del operador pulsando el ícono de Filtro tal y como lo muestra la Figura 4, con el cursor en el encabezado de la columna. Una vez seleccionado, aparecerá una lista desplegable que posibilita el filtrado de datos.

El formato Pivot Grid entrega la posibilidad de un amigable manejo de datos para analizar información cuando la salida incluye muchas filas [2].

Drop Filter Fields Here	Name	Data Source	Category	Data Item	Statistic	Average Total
Average	M	[DynamicObjects]	Content	NumberInSystem	Average	19.8703
					Maximum	35.0000
			FlowTime	TimeInSystem	Average (Hours)	0.1676
					Maximum (Hours)	0.1676
					Minimum (Hours)	0.1676
			Throughput	NumberCreated	Total	988.0000
				NumberDestroyed	Total	933.0000
	Server	[Resource]	Capacity	ScheduledUtiliz...	Percent	92.2712
				UnitsAllocated	Total	948.0000
				UnitsScheduled	Average	2.0000
					Maximum	2.0000
				UnitsUtilized	Average	1.8454
					Maximum	2.0000
			ResourceState	ProcessingTime	Average (Hours)	0.2413
					Occurrences	32.0000
					Percent	96.5273
					Total (hours)	7.7222
				StarvedTime	Average (Hours)	0.0087
					Occurrences	32.0000
					Percent	3.4727
					Total (hours)	0.2778
		InputBuffer	Content	NumberInStation	Average	4.8474
					Maximum	19.0000
			HoldingTime	TimeInStation	Average (Hours)	0.0404
					Maximum (Hours)	0.1332
					Minimum (Hours)	0.0000

Figura 4: Imagen de los resultados mediante Pivot Grid que arroja SIMIO [4].

1.8 Elaboración de un modelo de simulación

Para poder realizar un estudio de simulación se deben realizar una serie de actividades establecidas mediante la metodología de simulación. Este proceso no es serial, sino que necesaria y reiteradamente se dan procesos iterativos. En la Figura 5, se expone el diagrama de flujo de un proceso típico de aplicación de la metodología de simulación y a continuación se describen estos procesos.

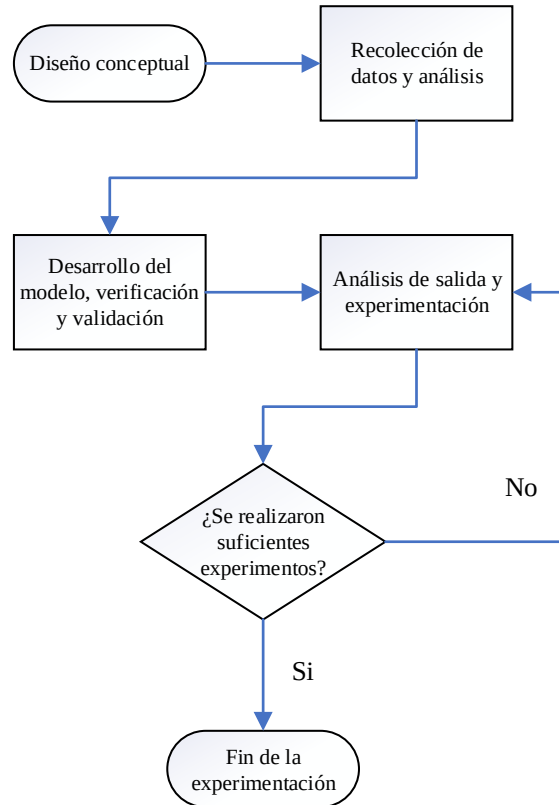


Figura 5: Diagrama de flujos del proceso de simulación [1].

1.8.1 Diseño conceptual

Para la primera etapa es necesario tener claro el sistema que se estudia mediante simulación: la información que es necesaria para generar el modelo, su alcance y los elementos que componen el sistema junto con las interrelación es entre estos. Además, los diagramas de flujo de materiales, recursos y personas. Las variables de decisión son definidas en esta etapa del proceso, además de sus interacciones, fronteras y limitaciones de éstas [1].

1.8.2 Recolección de datos y análisis

Esta segunda etapa es posible realizarla de forma simultánea con el diseño conceptual. En primer lugar, se debe recolectar la información estadística de todas las variables aleatorias que definen al modelo. Una vez recolectada la información, ya sea que la organización posea con anterioridad o que se reúna una vez generado

el plan de recolección de datos, se debe identificar el comportamiento de las variables aleatorias de manera estadística, a fin de poder incluirlas en el modelo [1].

1.8.3 Desarrollo del modelo, verificación y validación

En la tercera etapa se construye el modelo de simulación, una vez ya terminadas las etapas de diseño conceptual y de la recolección de datos. Para poder construir un modelo, es necesario generar primero un modelo base, luego un modelo preliminar y posteriormente, un modelo final que se valida previamente [1].

i) Generación del modelo base

En esta fase se debe generar un modelo no detallado del sistema, de manera general. Esta etapa es desafiante ya que es necesario traducir a un primer modelo toda la información que se obtuvo en el estado previo, sumando las interrelaciones que poseen las variables del sistema [1].

ii) Generación del modelo preliminar

En esta fase se debe incorporar la información que se obtuvo del análisis que se realizó a los datos antes obtenidos. Además, se integran los supuestos del modelo como a su vez los datos que se necesitan para acercarse lo más posible al comportamiento del sistema de estudio real [1].

iii) Verificación y validación del modelo

Ya construido el modelo preliminar es necesario validar el comportamiento del modelo y su capacidad para representar la realidad que se pretende simular respecto al sistema real, considerando todos los supuestos que se integraron más las distribuciones de probabilidad. Es decir, que todos los parámetros de estudio se adecuen correctamente al caso de simulación [1].

Este proceso consiste en realizar pruebas con la finalidad de observar el comportamiento que posee el modelo y hacer una comparación respecto al sistema real. Cabe mencionar que, en esta etapa, es trascendental comparar los resultados del comportamiento de la simulación respecto a los datos que se tienen del sistema real, previo a la mejora o depuración de los escenarios de simulación con la finalidad de que el modelo sea lo más cercano al sistema real [1].

De forma matemática, para validar los resultados se deben analizar los errores asociados a las principales variables de salida del modelo. Para evaluar los errores, a continuación se presentan las siguientes herramientas:

a. Error del pronóstico.

“Es la desviación o diferencia que existe en un tiempo determinado, entre el valor real y el valor pronosticado. Se expresa como un porcentaje con respecto al valor real” [1]. La siguiente fórmula plasma lo dicho anteriormente:

$$EP(\%) = \frac{\text{Valor real} - \text{valor pronóstico}}{\text{Valor real}} * 100 \quad (1)$$

b. Error porcentual absoluto medio (EPAM).

“Corresponde a la media de las diferencias, en valor absoluto, entre los valores reales y pronósticos, expresadas como porcentaje de los valores reales” [1]. Se considera un 10% de error como un porcentaje muy exitoso del modelo. Sin embargo, un porcentaje entre 20 – 30 también es aceptado [1]. Este error se calcula como:

$$EPAM(\%) = \frac{100 * \sum_i^n |\text{Valor real}_i - \text{valor pronóstico}_i|}{\text{Valor real}_i * n} * 100 \quad (2)$$

c. Señal de seguimiento.

“Corresponde a la medida del grado de acierto con que la simulación o el modelo está prediciendo los valores reales en un determinado instante. Las señales de seguimiento positivas indican que el valor real es superior al valor pronóstico, mientras que las señales de seguimiento negativas indican que el valor real es inferior al valor pronóstico” [1]. Así:

$$\text{Señal}_k = \frac{\sum_{i=1}^n (\text{Valor real del periodo}_i - \text{valor pronóstico del periodo}_i)}{DAM_k} \quad (3)$$

Donde:

$$DAM_k = \frac{\sum_{i=1}^k |\text{Valor real}_i - \text{valor pronóstico}_i|}{k}; k = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

Según Garvs, donde cita a George Plossl y Oliver Wight, habla sobre los límites de control que debe poseer el criterio de la señal de seguimiento. Plossl y Wight recomiendan límites de control de variabilidad con un máximo de ± 4 DAM para productos que poseen un gran volumen de producción y un ± 8 DAM para un volumen reducido de existencias [1].

1.8.4 Análisis de salida y experimentación

Una vez validado el proceso, el experimentador debe realizar una simulación de distintos escenarios hipotéticos. Existen varias maneras de generarlos. Una de las maneras para realizar la experimentación es considerar tres escenarios: optimista, intermedio y pesimista. En general, en el proceso de experimentación se deben realizar una gran cantidad de réplicas, lo que demanda un gran tiempo de simulación. SIMIO posee la facultad de eliminar la animación del proceso, y así acortar los tiempos de simulación [1].

Ya obtenidos los resultados, se deben utilizar pruebas estadísticas que faciliten la comparación de los escenarios de simulación y así poder concluir cuál es el escenario que permite alcanzar, de mejor manera, los objetivos esperados.

1.9 Uso de la metodología de simulación para desarrollar competencias profesionales

Para Antonio Navío Gámez, el concepto de competencia profesional es:

“Pueden ser consideradas como un conjunto de elementos combinados, que se integran atendiendo a una serie de atributos personales, tomando como referencia las experiencias personales y profesionales y que se manifiestan mediante determinados comportamientos o conductas en el contexto de trabajo” [6].

En este contexto, para “combinar y movilizar recursos”, el profesional en una situación compleja debe saber:

- a) actuar y reaccionar con pertinencia;
- b) combinar los recursos y movilizarlos;
- c) transferir;
- d) aprender y aprender a aprender; y
- e) saber comprometerse (p. 121).

Las competencias específicas de cada titulación son aquellas que se requieren para el desempeño de una función profesional y, por tanto, capacitan a los estudiantes para la realización de su ejercicio profesional. Además, se caracterizan por su fundamento científico académico y su orientación profesional [7].

El tener éxito en la utilización de la competencia profesional radica en la capacidad que tiene un individuo en adaptarse en los desafíos cambiantes. Además, [6] establece que la competencia profesional se desarrolla constantemente en

tiempo y espacio, ya que dependen de la exigencia del medio y el desempeño individual. De esto es posible inferir que una competencia profesional va mutando, y por ende, poseer una competencia específica hoy no significa poseer una mañana.

En los procesos de enseñanza, es trascendental ser cautelosos a la hora de entender la calidad de servicio que se imparte, ya que los sujetos que se someten a dichos procesos sufrirán las consecuencias de aprendizaje suficiente o deficiente, trayendo consigo un desarrollo óptimo – o no – en los conocimientos que se tratan de impartir. En carreras como medicina o enfermería, desde hace años se utiliza la metodología de simulación como método de aprendizaje, con el fin de controlar de mejor forma y lograr llevar a una más alta calidad de los métodos de enseñanza para evitar las consecuencias negativas en la formación profesional del estudiante. Así también, otras carreras han ido incorporando el uso de simuladores en la academia [8].

El uso de la metodología de simulación en el aula genera un cambio respecto de lo que es la enseñanza tradicional, mutando desde una formación basada en libros y aprendizaje a través de exposiciones en cátedra de forma presencial, hacia un aprendizaje activo, en el que el estudiante es capaz de integrarse como protagonista en la resolución de problemas. Así, es fundamental entender el uso de la metodología de simulación y cómo favorece al estudiante en la formación de sus competencias.

Según Osorio, Ángel y Franco [8], el uso de la metodología de simulación exige nuevos instrumentos, así como también un cambio de la estructura tradicional de enseñanza, que permite lograr nuevas formas de los docentes, así como también de conocimiento en los futuros profesionales, generados a partir de esta innovadora modalidad de enseñanza.

Un factor importante que se debe considerar al momento de utilizar los simuladores educativos es la motivación. Osorio, Ángel y Franco [8] identifican la motivación intrínseca y la extrínseca. La primera, se caracteriza por el afán interno

de ser parte del proceso, obteniéndose una gratificación al alcanzar las metas. Es más, el autor señala que, para la audiencia, los simuladores netamente recreacionales generan de manera más fácil motivación intrínseca que las simulaciones que se definen para un ambiente educativo. La segunda motivación – la extrínseca – se define a partir de un factor externo que incide sobre el sujeto de manera atractiva, cómo por ejemplo, una recompensa de reconocimiento o calificación, o castigo por la poca o nula participación de éste.

Además de lo anterior, un aspecto importante dentro de la motivación en los entornos de simulación computacional, se encuentra en la familiaridad con el ambiente computacional que se posee previamente, donde la gran mayoría de los estudiantes de pregrado forman parte de una generación de “uso digital nativa”. Por consecuencia, Osorio, Ángel y Franco [8] sugieren que los nuevos estudiantes que se sometan al uso de este tipo de simulación generarán menos sentimientos de fracaso y así, dado el alto nivel de estímulo que han recibido debido al uso de video juegos, verán aumentada su motivación.

Por lo tanto, al momento de implementar la metodología de simulación educativa, se sugiere poner atención a la motivación intrínseca y extrínseca que genera en el usuario, con la finalidad de poder obtener mejores resultados. Es posible encontrar estudiantes que no posean tales motivaciones, siendo deber del docente llevar al estudiante hacia esa motivación, despertando sentimientos e intereses que le permitan acercarse al tópico en cuestión a través de la simulación.

1.9.1 La metodología de simulación y la formación universitaria

El desarrollo de competencias profesionales específicas debe ser pertinente y efectiva. El uso de la metodología de simulación en un ambiente académico permite fomentar la formación de estas en un ambiente protegido. El objetivo de toda herramienta de simulación en un ambiente académico debe ser acercar al estudiante a un entorno profesional. Osorio, Ángel y Franco, señalan que *“Ha sido demostrado en investigaciones que las habilidades aprendidas a través de la*

interacción con simuladores pueden transferirse a los entornos reales de práctica y de ahí su potencial para el uso, por ejemplo, con pacientes o clientes” [8].

Además, Osorio, Ángel y Franco exponen que:

“La simulación educativa está en el punto de tener un impacto significativo en el aprendizaje, traspasando fronteras profesionales en áreas tanto de pregrado como en posgrado; posibilita un entorno educativo seguro, que brinda apoyo, permitiendo a los usuarios de diversos niveles educativos, practicar y desarrollar habilidades con la certeza de que los errores no les generarán consecuencias irreversibles en lo real” [8].

De lo anterior, es pertinente mencionar que el concepto de “realidad” se refiere a aquellas situaciones que se viven en los ambientes laborales, en empresas de producción y/o de servicio, en emprendimientos, entre otros, en los que la persona involucrada, al no poseer experiencia en ciertas situaciones, enfrenta la posibilidad de no tomar las decisiones correctas. Es aquí donde la simulación educativa juega un rol fundamental, haciendo posible un ambiente protegido para la experimentación y el error en el proceso de adquirir el dominio de una competencia, mediante estas herramientas, en las que el usuario puede equivocarse y aprender sin que traigan consecuencias a su trabajo.

Una característica que deben poseer los simuladores educativos es la pertinencia con los objetivos de aprendizaje que se buscan. El simulador debe lograr poner a prueba a los estudiantes a distintos escenarios y en donde ellos, con los conocimientos que poseen en ese punto de la carrera, de pregrado o posgrado, puedan resolver. Por ende, se debe analizar con rigurosidad la articulación de los métodos de implementación del simulador. Osorio, Ángel y Franco establecen que *“un aprendizaje exitoso a partir de la simulación educativa requiere una cuidadosa articulación entre el diseño de la simulación, las competencias que se desean desarrollar, las actividades de enseñanza en las que se inscribe la interacción con el simulador, y los resultados de aprendizaje esperados” [8].*

Además, Osorio, Ángel y Franco [8] señalan que la metodología de simulación en el campo de la educación debe considerar el concepto de fidelidad. Esta, se define como “*grado en el cual la apariencia y comportamiento de la simulación/simulador corresponden con la apariencia y comportamiento de este mundo real*” [8]. Es esencial que la simulación posea un grado de fidelidad alto, ya que, si no lo posee, los estudiantes, aunque desarrollen competencias en torno al simulador propuesto, no serán competencias adecuadas, ya que el grado de fidelidad será bajo respecto del sistema que simulan.

Así, es posible complejizar al simulador con la finalidad de obtener un alto grado de fidelidad, maximizando las similitudes respecto al entorno real. Sin embargo, si al complejizarlo, el estudiante no logra el aprendizaje esperado, se debe bajar la dificultad del simulador, permitiendo que el alumno vaya paso a paso hacia una complejidad mayor, permitiendo finalmente la incorporación del aprendizaje. Este concepto según Osorio, Ángel y Franco se conoce como realimentación [8].

Asimismo, la experiencia de aprendizaje a través del simulador debe estar acompañada con información adicional que se logra en ambientes donde comparten el profesor y compañeros de asignatura, el que permite complementar la actividad desarrollando atributos y herramientas que no entrega el simulador en sí mismo, tales como relaciones sociales, habilidades interpersonales, entre otras. Más aún, en [8] señala que es necesario que el uso de una herramienta educativa, como lo es el simulador aplicado a esta ciencia, debe estar complementada con actividades interpersonales, como el juego de roles, y considerar el desenvolvimiento con otras personas. Además, es necesario que en la planificación de la asignatura, existan estrategias que ayuden a incorporar información adicional tales como: revisión de videos educativos, clases en cátedra, debates entre compañeros de curso, entre otras.

Así, Osorio, Ángel y Franco concluyen que es primordial que previo a la implementación del uso de la metodología de simulación en la sala de clases, los docentes deben tener el entrenamiento necesario, en conjunto con una planificación acorde a los objetivos y con un nivel de desarrollo de competencias pertinente a lo

que se quiere lograr. Además, señalan que *“La simulación efectiva requiere que los profesores se conviertan en facilitadores hábiles para el aprendizaje centrado en el estudiante a través del escenario de la simulación y el proceso de explicar lo ocurrido durante la simulación al finalizar la misma”* [8].

También, Osorio, Ángel y Franco concluyen que el uso de la metodología de simulación aplicada al área de la educación debe venir acompañada por el conocimiento teórico de cátedra. Si se aplica sin una tutela de un profesor, no se alcanzará la efectividad deseada. Por lo tanto, estas herramientas bajo ningún aspecto sustituyen al profesor. Al contrario, éste posee un rol protagonista en el desarrollo de las experiencias de aprendizaje bajo la metodología de simulación [8].

Por último, se concluye que el uso de la metodología de simulación permite a los estudiantes aumentar su motivación enfocada en el aprendizaje, donde incrementa la efectividad del proceso de enseñanza – aprendizaje, por medio de las situaciones que se simulan enfocadas en problemas reales a los cuales se enfrentará el profesional en el futuro. Más aún, también permite incrementar el pensamiento crítico y resolución de problemas, donde el estudiante puede resolver por medio de distintos escenarios, la mejor solución aplicada hacia el problema que está analizando [8].

1.10 Aplicaciones de la simulación en el marco de la industria 4.0 dentro de un contexto educacional

Dentro del marco del paradigma de la Industria 4.0, la aplicación de la simulación como herramienta de aprendizaje es posible ejemplificarla cada vez más y, en distintas áreas del conocimiento, ya que permite a estudiantes entender conceptos y sistemas complejos, como a su vez acceso al aprendizaje mediante el concepto del “aprender haciendo”. La inclusión de la simulación en el ámbito académico dentro del mundo ingenieril es cada día más recurrente [9], donde estudiantes se ven enfrentados a variables del sistema que son de carácter natural, como a su vez hechas por el hombre y que afectan a éste. En este ámbito se desarrollan herramientas de aprendizaje basadas en simulación para que colaboren

en el entendimiento de los conceptos que, además de ser vistos en clase, contribuyan a mejorar la comprensión en el auto conocimiento y estudio personal [9].

Dado el desarrollo de nuevas tecnologías que permiten estudiar distintos comportamientos de la programación de la producción en ambientes de sistemas complejos, la academia ayuda a estudiar este tipo de problemas mediante la simulación [10].

En las siguientes secciones, se presentan ejemplos concretos que han permitido desarrollar herramientas educativas mediante simulación y, además, un estudio del uso de simuladores que fomenta el desarrollo de competencias de aprendizaje.

1.10.1 Herramienta educacional mediante simulador aplicado a la industria minera de mármol

Para Akkoyun, Turquía posee una enorme reserva natural de mármol con variedad de tipos, texturas y colores. Es por esto, que dentro del país existe una gran cantidad de industrias que se encargan de producir mármol, convirtiendo a Turquía, en el mayor productor de manufactura de esta piedra en las últimas dos décadas. Dicho proceso, implica procesos de extracción, corte, redimensionado, pulido y empaquetado usando diferentes máquinas que practican estilos de corte y pulido con distintas herramientas en una escala industrial. En general, los productos y derivados de la manufactura del mármol nacen de dos líneas de procesos: líneas de sierra y línea de azulejos. El primer proceso trabaja piezas grandes y el segundo piezas más delgadas [9]. En la Figura 6, es posible observar los pasos de los dos procesos de manufactura descritos previamente.

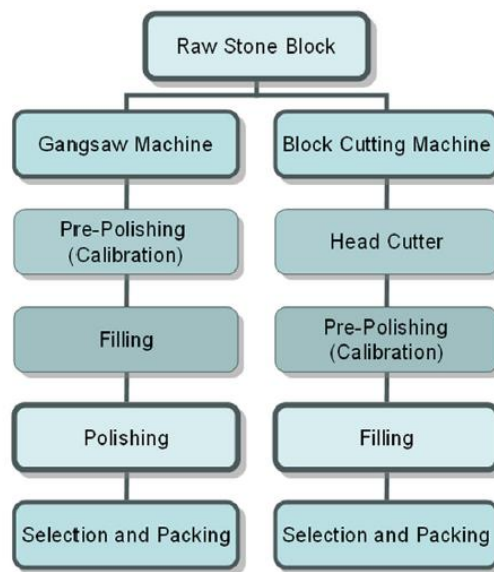


Figura 6: Diagrama de procesos de manufactura de mármol [9].

Una herramienta de aprendizaje mediante simulación fue la que se desarrolló en el Departamento de Ingeniería Minera en la Universidad de Dicle, Turquía [9]. Este software permite simular sistemas productivos en base a plantas de mármol o canteras, las que conceptualmente se habían enseñado durante años de manera convencional, pero cuyo uso – el del simulador – ha ayudado al entendimiento de los conceptos específicos en las áreas de geología, ingeniería, minería e ingeniería ambiental. Así, el simulador recibe data sobre bloques de mármol generados de manera aleatoria e información acerca de la selección de la línea de proceso. Luego, inmediatamente el software calcula los costos para seguir con el tiempo de proceso por hora y por día del lote. El simulador es capaz de entregar la cantidad de producto elaborado, los costos operacionales globales instantáneamente entregándolo en un diagrama de torta y a tasa de desperdicio por cada línea, tal y como lo muestra la Figura 7, donde se observan los efectos ambientales que produce el tratamiento del lote.

Gracias a la aplicación del software, es posible cambiar ciertas variables de decisión que permiten a los estudiantes comprender de mejor manera los conceptos tales como el decrecimiento del desperdicio o incrementar el grosor del producto o

también ver qué efectos produce aumentar la velocidad de corte [9], tal como se muestra en la Figura 7.

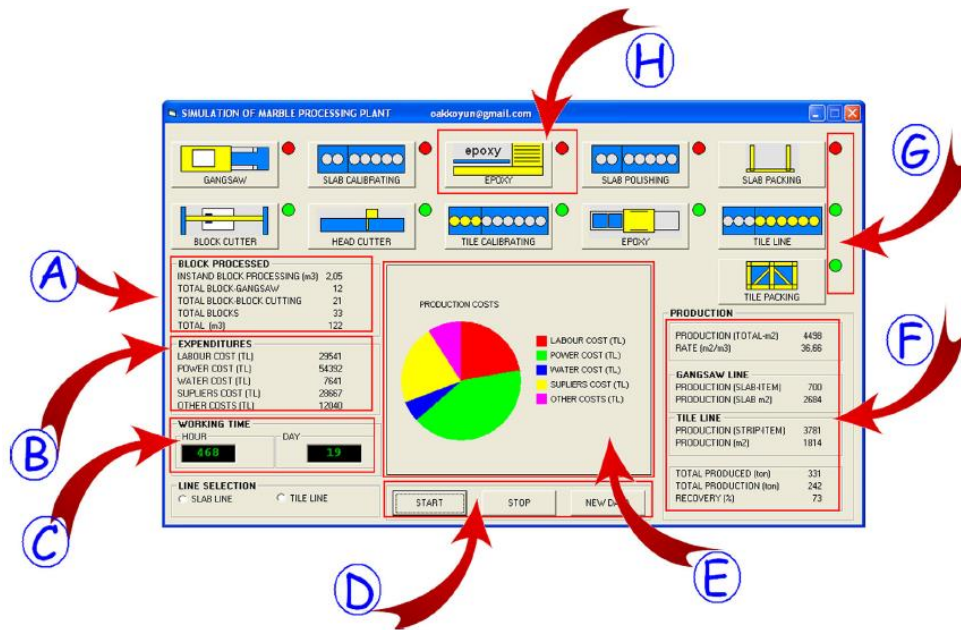


Figura 7: Simulación de un proceso de mármol [9].

Para medir el nivel de satisfacción del software, según Akkoyun, se utilizó un estudio cualitativo mediante una encuesta empleando la escala Likert, que se aplicó a dos clases distintas, una de 17 estudiantes del Departamento de Ingeniería Minera y otra a 19 estudiantes que están en secundaria en un curso vocacional [9]. Los resultados obtenidos son satisfactorios y es posible apreciarlos en la Tabla 1.

Tabla 1: Encuesta de nivel de satisfacción mediante escala Likert a 2 cursos distintos de estudiantes mediante el uso del simulador [9].

		Vocational high school		Mining engineering department	
		Mean	Std. dev.	Mean	Std. dev.
1	The courseware is easy to use	3.9	0.79	4.3	0.81
2	It is helpful to understand the processing plant system	4.8	0.63	4.9	0.71
3	It is easy to input new data/change variations	3.7	0.59	4.1	0.49
4	It is helpful to increase my interest level	5.6	0.74	5.4	0.60
5	The operational variables of every machine can be seen easily	4.9	0.87	4.7	0.97
6	It may also be useful for extracurricular time	2.9	0.92	3.2	1.02
7	It would be good if we had tools like this for more lectures	5.9	0.48	5.6	0.51
8	It is too complex to use/understand	3.2	0.77	2.6	1.18
9	I prefer books and other conventional tools	1.6	0.56	1.8	0.64
10	This tool with lecture notes together would be more helpful	5.7	0.74	5.1	0.67

1 = totally disagree, 2 = mostly disagree, 3 = slightly disagree, 4 = slightly agree, 5 = mostly agree, 6 = totally agree.

1.10.2 Herramienta de aprendizaje mediante simulador aplicado en el campo de la simulación clínica

En la Universidad de la Sierra Sur, ubicada en Oaxaca, México, se realizó un estudio a través de la implementación de una herramienta de simulación educativa implementada a 119 estudiantes de enfermería de cuarto semestre de la Facultad de Salud Pública, en el ramo de Enfermería Materno Juvenil. Implementando una clínica robotizada, este simulador busca saber el impacto que genera la aplicación de éste en el campo del trabajo de parto. La metodología que se utiliza para este estudio considera una comparación de la enseñanza tradicional del tema versus la implementación de la simulación clínica. La aplicación de la metodología tradicional según Amaro, Hernández, Hernández y Hernández *“consistió en dar la clase teórica en aula y replicarla con un simulador”* [11], mientras que para la implementación del simulador educativo *“consistió en clase teórica, escenario de simulación clínica, caso clínico y debriefing”*. El debriefing es un conversatorio que se establece entre los participantes de la actividad con el fin de reflexionar acerca de esta y obtener conclusiones, generando así un pensamiento crítico.

Dentro del diseño e implementación del estudio de la efectividad de la herramienta de simulación, Amaro, Hernández, Hernández y Hernández consideran lo siguiente: *“Nombre del escenario, autores, participantes, lugar, fecha, cronograma, objetivos, descripción del escenario, personas que participarían en el escenario, preparación del escenario, simulador y los acontecimientos a realizar, actitud de los participantes, el debriefing”* [11]. Este último, tuvo tres etapas para su aplicación: i) descripción de la actividad, ii) análisis de la hipótesis y iii) la aplicación del simulador. Por último, se considera la finalización de la actividad.

Para desarrollar las preguntas de reflexión que los estudiantes debían contestar, [11] considera el tema de atención al trabajo de parto, y estas preguntas fueron validadas por profesores asociados a esta materia en particular. Además de las preguntas de conocimiento general de la materia, se consideró una pregunta

acerca de la situación académica que atraviesa el estudiante en el curso en particular. Específicamente, se le pregunta al estudiante si ha cursado más de una vez el curso, ya que el estudio excluye a estos estudiantes dado que entregan resultados sesgados.

Para poder aplicar el estudio de la herramienta de simulación, previamente los estudiantes firman una carta de consentimiento informado, con el fin de resguardar la identidad de los participantes. Luego, se aplica un cuestionario que busca generar un diagnóstico preliminar acerca de los conceptos que manejan. Esta evaluación es realizada por el profesor a cargo del curso.

Posteriormente, de forma aleatoria, se generan cuatro grupos de 30 personas aproximadamente. Dos de esos grupos fueron escogidos al azar para impartirles métodos de enseñanza tradicional, en donde, el profesor dicta una cátedra teórica y posteriormente, aplica la práctica con la herramienta de simulación educativa *Victoria S2200*. En esta experiencia, los estudiantes observan el cómo se genera la simulación sin la capacidad de intervenir en ésta, tomando un rol secundario ya que el profesor ejecuta y manipula el programa.

Por otra parte, [11] se establece que los otros dos grupos, tal como se realiza al par de grupos anteriores, se les imparte una clase expositiva y una posterior simulación práctica. Sin embargo, a diferencia del grupo anterior, los estudiantes tuvieron un rol protagonista y pudieron intervenir en ésta.

La actividad de simulación se realiza de la siguiente forma: se introduce el caso clínico en conjunto con los escenarios de la simulación, donde dos estudiantes asumieron el rol de enfermero y el otro de enfermo asistencial. El simulador tiene un alto grado de fidelidad para poder realizar la situación en cuestión con programación en respuestas de dolor, gritos de contracción junto con la acción de pujar, la cantidad de flujo sanguíneo a la hora del parto, entre otras. La simulación por la cantidad de tiempo disponible que se posee, alrededor de 30 minutos, la

simulación solo permite que una pareja asuma este rol y los otros estudiantes observan para poder avanzar con todas las etapas de la metodología.

Luego, se inicia la etapa de debriefing donde se subdividió el grupo de 30 personas en dos para aumentar la participación estudiantil. Se plantea un guión específico que es diseñado por el profesor a cargo con las etapas mencionadas anteriormente: descripción del proceso, análisis crítico y la aplicación de la situación. Después de tres semanas, con la intención de indagar acerca de la retención de información de los estudiantes, se aplica el mismo cuestionario de diagnóstico [11].

Para realizar el análisis estadístico, [11] el simulador genera un test de ANOVA y se toman las variables categóricas en porcentajes como media y desviación estándar. Se considera un nivel de significancia de $p < 0,05$. La Figura 8 muestra la diferencia de medias entre la aplicación del cuestionario de diagnóstico para los alumnos que se sometieron a una enseñanza tradicional y aquellos que participaron de una enseñanza alterna mediante una metodología de simulación. Es posible observar que no existen diferencias significativas entre ambos.

Al cabo de tres semanas, se genera nuevamente el cuestionario de diagnóstico y se obtienen los siguientes resultados expuestos en la Figura 9. Es posible observar que existe una diferencia clara con $p < 0,001$ entre una enseñanza mediante una metodología tradicional y una metodología en base a simulación.

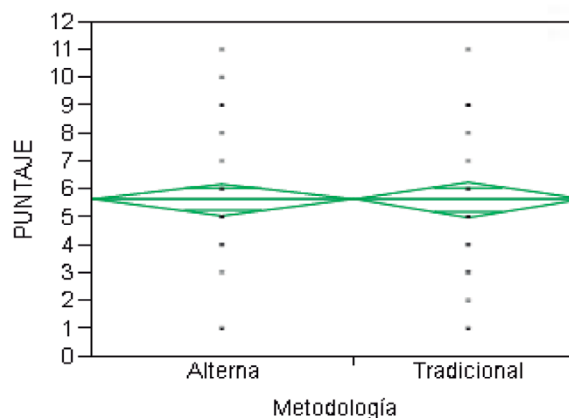


Figura 8: Diferencia de medias para pretest aplicando una metodología tradicional y una metodología alterna [11].

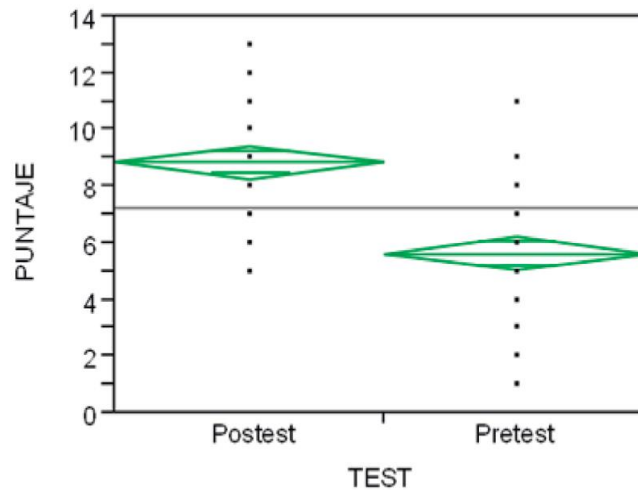


Figura 9: Diferencia de medias para posttest aplicando una metodología tradicional y una metodología alterna [11].

Es posible establecer que según [11], existe evidencia estadística que la implementación de esta metodología de simulación permite mejorar el conocimiento de los estudiantes a la hora de enfrentar situaciones reales mediante un simulador educativo. Es importante señalar que se debe adaptar el simulador al nivel de conocimientos previos que posee el curso de la materia a evaluar.

Para [11], este es el primer estudio para analizar la efectividad del uso de la herramienta de aprendizaje dentro del campo clínico en su universidad y, por lo tanto, ha ayudado a seguir desarrollando investigación al respecto. Además, establece que es posible generar una mejora continua al simulador con la finalidad de acercarse cada vez más a la realidad.

También, [11] discute acerca de las habilidades que son posibles de observar en los estudiantes que se someten a esta metodología. Dentro de ellas se destacan: el incremento de su capacidad cognitiva y analítica, así como la adquisición de habilidades de razonamiento y comunicación. Además, dentro del debriefing, los estudiantes reflexionan acerca de sus acciones y corrigen errores con sus pares. Esto les permite tomar una actitud mucho más reflexiva para que en el futuro tomen mejores decisiones más adecuadas cuando se enfrenten a una situación similar, pero en una situación real.

En consecuencia, [11] concluye que, dentro del estudio de la efectividad y aplicación del trabajo de parto, abordado mediante una herramienta de simulación educacional, los estudiantes que recibieron una enseñanza a partir de la experiencia de simulación de manera protagónica obtuvieron mejores puntajes en el cuestionario de conocimientos, respecto de aquellos estudiantes que recibieron la enseñanza tradicional. Además, sugiere que se expandan las situaciones clínicas que son posibles de simular mediante el software para así, seguir con el estudio de caso y analizar la efectividad en otros campos del área de la salud.

1.10.3 Herramienta de aprendizaje basada en metodología de simulación en el contexto de la ingeniería en el ámbito de la gestión de proyectos

Existen amplias aplicaciones de la disciplina de la gestión de proyectos en distintos ámbitos de la actividad: construcción, sistemas de producción, estudios de factibilidad, y muchas otras. Aun cuando es frecuente encontrar nuevas metodologías enfocadas en gestión de proyectos, sin embargo, la rápida aceleración de estas nuevas herramientas no está acompañadas con un desarrollo de estrategias de aprendizaje adecuadas. [12] presenta un caso de estudio enfocado para alumnos de ingeniería industrial, donde se ven enfrentados a una herramienta de aprendizaje mediante un software denominado Project Management Trainer (PMT). En este estudio, se aplican todos los conocimientos aprendidos durante el transcurso de la asignatura y simulan una experiencia práctica para diagnosticar y posteriormente, evaluar el conocimiento adquirido por los estudiantes. En el laboratorio de simulación plantean tres variables de decisión que deben ser optimizadas: tiempo de programación para la evaluación del proyecto, el costo mínimo de éste y, además, que esté dentro de los parámetros de presupuesto. La experiencia de aprendizaje posee varios casos de estudio para poder evaluar estas variables, con diferentes tiempos de evaluación del proyecto, y con la capacidad de guardar todos los parámetros asociados a esta. Junto con esto, PMT se genera data con la finalidad de poder enlazarlo con el software Microsoft Project. Por lo tanto, el objetivo de la investigación de [12], es estudiar el impacto en el aprendizaje que produce en los estudiantes el uso del simulador mediante PMT.

[12] desarrolla la teoría de aprendizaje experiencial – Kolb, Experiential Learning – donde postula cuatro niveles básicos del ciclo de aprendizaje: i) experiencia concreta, ii) observación reflexiva, iii) construcción abstracta del pensamiento y, iv) experimentación activa. Así, la experimentación educativa o herramientas de aprendizaje basadas en simulación fundamentan los siguientes aspectos de la teoría de Kolb:

1. El desenvolvimiento del usuario con el simulador provee una experiencia concreta y evoca en la persona sentimientos motivacionales.
2. El trabajar con un simulador genera un pensamiento reflexivo.
3. La aplicación de distintos escenarios de simulación permite desarrollar un pensamiento abstracto e integración conceptual mediante el proceso de aprendizaje.
4. La simulación facilita un desarrollo continuo y dinámico del ambiente activo de experimentación.

La herramienta de simulación mediante PMT, según [12] permite desarrollar distintos escenarios de simulación. Esta mediante una modelación estocástica, genera cambios dinámicos a medida que avanza el tiempo. Además, el modelo posee variedad de escenarios y casos de estudio con distintos grados de complejidad, que permite desarrollar habilidades en los estudiantes que favorecen su aprendizaje. Gracias a la interfaz gráfica, la experiencia de aprendizaje realza el entendimiento de los estudiantes y genera un ambiente aún mayor de conocimiento. Así, los usuarios desarrollan conocimientos suficientes para manipular el simulador en poco tiempo.

La herramienta se fundamenta principalmente en el aprendizaje continuo a través del tiempo o como lo denomina [12], “learning history”. Esto permite que el usuario tenga acceso a todas las variables de estado durante todo el proceso de simulación y donde gracias a la intervención del usuario en la simulación, es posible cambiar los resultados mediante la intervención del desarrollo del proyecto.

Por lo tanto, el objetivo de la investigación radica en dos aplicaciones distintas de la herramienta: con una de ellas un grupo de estudiantes tiene la capacidad de grabar manualmente puntos del avance de la historia del desarrollo del proyecto virtual, mientras que otro grupo de estudiantes graban automáticamente todo el desarrollo de éste. La investigación de [12] posee cinco grupos de estudiantes de experimentación: un grupo que posee la habilidad de guardar automáticamente el desarrollo del proyecto y además, la capacidad de deshacer eventos; otro que guarda también automáticamente la historia del proyecto pero puede deshacer eventos; un tercer grupo que guarda la historia de forma manual con la posibilidad de deshacer los hechos; un cuarto también con un formato manual de guardar la historia de desarrollo pero sin la chance de deshacer los hechos; y, un último grupo que no posee ninguna de las anteriores. Los cinco grupos se someten a una primera fase de un caso simple de evaluación de proyectos, donde las herramientas de grabar la historia y deshacer los hechos están habilitadas y una segunda fase donde plantean un escenario de evaluación de multi proyectos sin ninguna herramienta, tal y como lo muestra la Figura 10.

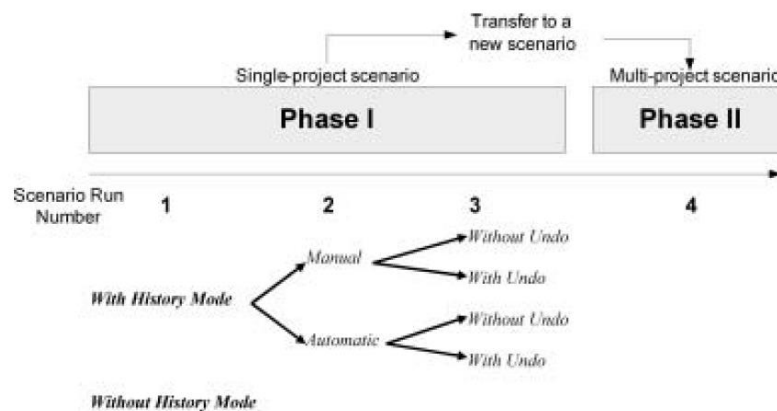


Figura 10: Diseño del caso de estudio de las fases de aplicación del modelo de simulación [12].

El estudio estadístico del rendimiento de la aplicación de los distintos tipos de escenarios de aprendizaje se realiza mediante T-Student y ANOVA. Ambos tests se utilizan con la finalidad de que las diferencias de medias de las variables sean significativas de acuerdo con las hipótesis estadísticas planteadas. Por una parte, T-

Student analiza la significancia de la comparación de medias de dos variables independientes. Por otra parte, ANOVA analiza la diferencia de medias para variables mayores a dos [12].

[12] plantea que, en resumen, el análisis estadístico arroja que, al momento de avanzar a la simulación de un multi proyecto de gestión, los grupos que si podían grabar la historia, obtuvieron una ganancia mayor respecto al proceso de aprendizaje que quienes no tuvieron esta opción en el primer escenario simulado. Y, cuando se compara entre el escenario manual de “history keeping mode” respecto al automático, el grupo que obtuvo mayor beneficio fue el que experimentó manualmente la opción, dado que obliga a los estudiantes del modo manual a tener un grado mayor de concentración; y, por ende, obtuvieron mejores resultados de aprendizaje. Además, en los grupos de estudiantes que poseían la habilidad de guardar la historia de la simulación, también hay diferencias significativas en el proceso de aprendizaje con el factor de deshacer acciones y cambiar los resultados posteriores. Los estudiantes que se sometieron a la opción de deshacer eventos, junto con la opción de mantener el modo historia, obtuvieron mejores beneficios en el proceso de aprendizaje respecto a los que poseían el modo historia, sin la opción de deshacer eventos. Esto a la larga, generó un desarrollo de un pensamiento crítico mayor y generó en los estudiantes mejoraran sus niveles de entendimiento de la gestión de proyectos.

Por último, [12] sugiere que, a fin de obtener resultados con mayor relevancia en términos de la investigación de aprendizaje, es necesario evaluar después de un periodo mínimo de dos semanas. Se mide el aprendizaje de los grupos de estudiantes sometidos a este tipo de simulación con el objetivo de investigar el efecto que produce en ellos el sistema de simulación en base a escenarios, a mediano y largo plazo.

2. LEVANTAMIENTO DE LA INFORMACIÓN DE CRITERIOS DE LABORATORIOS A MODELAR

El presente capítulo describe, en modo general, el modelo educativo UTFSM, su Enfoque Curricular Basado en Competencias, y muestra las Competencias Transversales Sello y cómo es posible evaluar el desarrollo de éstas de manera objetiva y medible a través de la formación del estudiante. Además, se presentan las competencias generales y específicas del Ingeniero Civil Mecánico UTFSM. Por último, se plantean las características fundamentales que debe poseer la propuesta de laboratorio de simulación, así como también, los tópicos que deben buscar analizar estos tipos de laboratorios.

2.1 Modelo educativo institucional UTFSM

Debido a los cambios que ha sufrido el mundo profesional, la UTFSM ve una necesidad de actualizar su modelo educativo. Este proceso fue iniciado desde el 2005 y desde entonces, a partir de reflexiones internas, se procura generar una propuesta educativa integral con un sello distintivo – característico de la Universidad Técnica Federico Santa María, llegando a una propuesta de un modelo basado en Competencias Profesionales Específicas [13].

2.1.1 Enfoque Curricular Basado en Competencias (ECBC)

La universidad posee una constante preocupación de capacitar a futuros profesionales que puedan resolver las necesidades de un país que persigue un constante desarrollo industrial y tecnológico. En este contexto, la UTFSM ha adoptado el Enfoque Curricular Basado en Competencias (ECBC), buscando que el estudiante pueda visibilizar los logros alcanzados tanto en el proceso como en las metas del proceso formativo de educación superior. Por ende, la implementación de este modelo académico – educativo se obtiene a partir de las vivencias, propuestas y reflexiones surgidas en permanente progreso.

El ECBC está concentrado en el reconocimiento de resultados en el aprendizaje, que establecen el desarrollo educativo con dirección a alcanzar los objetivos de aprendizaje, en donde se desarrollan herramientas para que el estudiante sea capaz de evidenciar dicho progreso, así como pueda visibilizar las metas alcanzadas en su formación como profesional [13].

2.1.2 Competencias transversales – sello UTFSM

Para establecer los lineamientos que deben poseer las competencias – sello, características de un estudiante egresado de UTFSM, se consideran los valores fundacionales establecidos por don Federico Santa María, más un estudio de mercado enfocado a estudiantes, egresados, profesores y profesionales ejerciendo en la industria entre los años 2012 – 2014 [13].

Las características fundamentales que debe poseer un estudiante de UTFSM como Competencias – Sello son [13]:

1) Responsabilidad Social y Ética

“Se hace responsable de que los conocimientos adquiridos y habilidades desarrolladas, sean puestos al servicio de la comunidad y de la sociedad, en pos de un bien común por sobre el individual, en coherencia con el legado testamentario de Don Federico Santa María Carrera”.

2) Resolución de problemas

“Resuelve problemas complejos, analizando y evaluando soluciones efectivas y eficientes, en función de su impacto en la organización, las personas y el medio ambiente”.

3) Compromiso con la calidad

“Ejecuta las actividades profesionales con excelencia, que le permitan enfrentar los retos que se presentan, guiado por un aprendizaje continuo, una autoevaluación sistemática y una cultura de calidad”.

4) Innovación y emprendimiento

“Desarrolla mejoras e innovaciones tecnológicas y de gestión, generando oportunidades para dar respuesta satisfactoria a las necesidades organizativas y sociales”.

5) Manejo de las tecnologías de información y comunicaciones

“Utiliza las tecnologías de información y comunicaciones en la gestión de proyectos, la resolución de problemas y en la forma de colaborar con otras personas”.

6) Comunicación efectiva

“Comunica efectivamente sus ideas, tanto en forma escrita como oral, en español e inglés”.

7) Vida saludable

“Practica el autocuidado, el autodesarrollo y la autogestión, a través de la actividad física y la vida saludable, para alcanzar un desarrollo humano integral”.

2.1.3 Competencias del Ingeniero Civil Mecánico UTFSM

Las competencias que definen a un profesional integral de la carrera de Ingeniería Civil Mecánica, declaradas en el perfil de egreso, son las siguientes [14]:

Competencias generales

1) “Actuar con responsabilidad y compromiso social, valorando la multiculturalidad y globalidad e integrando en sus prácticas principios éticos universales”.

2) “Resolver problemas, analizando, identificando y sintetizando factores que permitan una toma de decisiones que beneficien a la comunidad”.

- 3) “Demostrar capacidad de autoaprendizaje, manteniendo una actitud flexible y propositiva respecto a nuevos saberes”.
- 4) “Gestionar eficientemente proyectos, equipos de trabajo y recursos con capacidad de liderazgo y conocimiento de manejo de personal”.
- 5) “Capacidad de comunicarse efectivamente, en forma oral y escrita, para desempeñarse en ambientes multidisciplinarios, tanto nacionales como internacionales”.

Competencias específicas

- 1) “Diseñar, proyectar y desarrollar sistemas energéticos, sistemas productivos, máquinas y equipos industriales, bienes de consumo intermedio con los más altos estándares de calidad, bajo consideraciones de respecto a las personas, a la legislación vigente y el medio ambiente”.
- 2) “Realizar y fomentar la investigación y desarrollo de experimentos, que permitan la innovación, incorporación o desarrollo de nuevas tecnologías en el ámbito de la especialidad”.
- 3) “Usar los conocimientos científicos y tecnológicos de la especialidad mecánica para el diseño, desarrollo, implementación y operación de procesos y productos”.
- 4) “Manejar herramientas para la administración, supervisión y optimización del uso de los recursos humanos, materiales y financieros a su cargo”.
- 5) “Dominar metodologías para mejorar la competitividad de las empresas productivas, a través de la calidad, productividad y flexibilidad”.

2.1.4 Modelo de Evaluación de las Competencias – Sello UTFSM

El modelo de evaluación de las CTS (Competencias Transversales Sello) está pensado en que todos los estudiantes UTFSM, independiente del grado de estudio, sean capaces de resolver los desafíos del mundo profesional.

Para lograr esto, la UTFSM define un diagrama de flujos, presentado en la Figura 11, que permite cuantificar el nivel de logro de las CTS. La primera etapa, consiste en una descripción detallada desde el punto de vista técnico, profesional y laboral, del enfoque del perfil de egreso UTFSM. Una vez definido esto, es necesario definir los niveles de dominio, que tienen como objetivo establecer una secuencia o ciclos de profundidad formativa en relación con la complejidad tanto de habilidades, conocimientos y competencias que se requiera desarrollar [15]. UTFSM define sus niveles de dominio como Inicial, Intermedio y Avanzado.



Figura 11: Proceso para la elaboración del modelo de Certificación de CTS – USM [13].

Para poder medir CTS en el desarrollo de los estudiantes en el proceso de aprendizaje, el modelo educativo UTFSM, establece tres niveles de logro como indicadores de éxito: Complejidad, Reflexión y Autonomía. Así, en combinación con los niveles de dominio, se necesita precisión en actitudes y evidencias observables. Por consiguiente, los descriptores de los indicadores permiten dar cuenta de avances en la incorporación de CTS.

2.2 Descripción de los requisitos fundamentales de la asignatura asociadas al laboratorio de simulación de producción y operaciones

Como parte del programa del curso de “Gestión de la Producción y Operaciones”, que es parte de la malla de la carrera de Ingeniería Civil Mecánica (ICM) de UTFSM, en el marco del desarrollo de CTS, la asignatura se involucra con tres competencias y su desarrollo: Resolución de problemas; Manejo de tecnologías de información y comunicación; y, por último, Comunicación efectiva. Además del desarrollo de las CTS, es necesario mencionar que la asignatura involucra, en el marco del perfil de egreso de un Ingeniero Civil Mecánico UTFSM, la competencia específica que se relaciona con dominar metodologías para mejorar la competitividad de las empresas productivas, a través de la calidad, productividad y flexibilidad.

En el programa del curso, se establecen los siguientes objetivos de aprendizaje relacionados con actividades de laboratorio:

1. Aplicar métodos de la gestión de producción y operaciones para el diseño y mejoramiento de sistemas y procesos en condiciones simuladas en laboratorio, logrando soluciones que aumente el nivel de efectividad y productividad.
2. Medir el desempeño de sistemas o procesos de producción u operaciones, simulados en laboratorio con distintos grados de complejidad, utilizando indicadores característicos adecuados, por medio del tratamiento estadístico de los datos que recoge de las variables involucradas.

A partir de lo anterior, es necesario generar una plataforma que tenga como finalidad desarrollar las competencias mencionadas anteriormente, llevando los contenidos de la asignatura a un ambiente de experimentación donde el estudiante sea capaz de tomar decisiones de carácter profesional, y donde las variables aleatorias juegan un rol fundamental. Se debe generar una serie de requerimientos y restricciones que permitan desarrollar las experiencias de aprendizaje, apoyando

que los estudiantes logren los resultados de aprendizaje esperados. Esta plataforma debe tener la lógica de un simulador computacional mediante DES, que permita diagnosticar, evaluar, analizar y mejorar sistemas de producción y operaciones mediante una serie de parámetros de entrada.

En la Figura 12, se presenta el diagrama lógico de procesos que se propone para desarrollar las competencias generales y específicas del Ingeniero Civil Mecánico UTFSM dentro de la asignatura de Gestión de Producción y Operaciones aplicado al laboratorio DES.

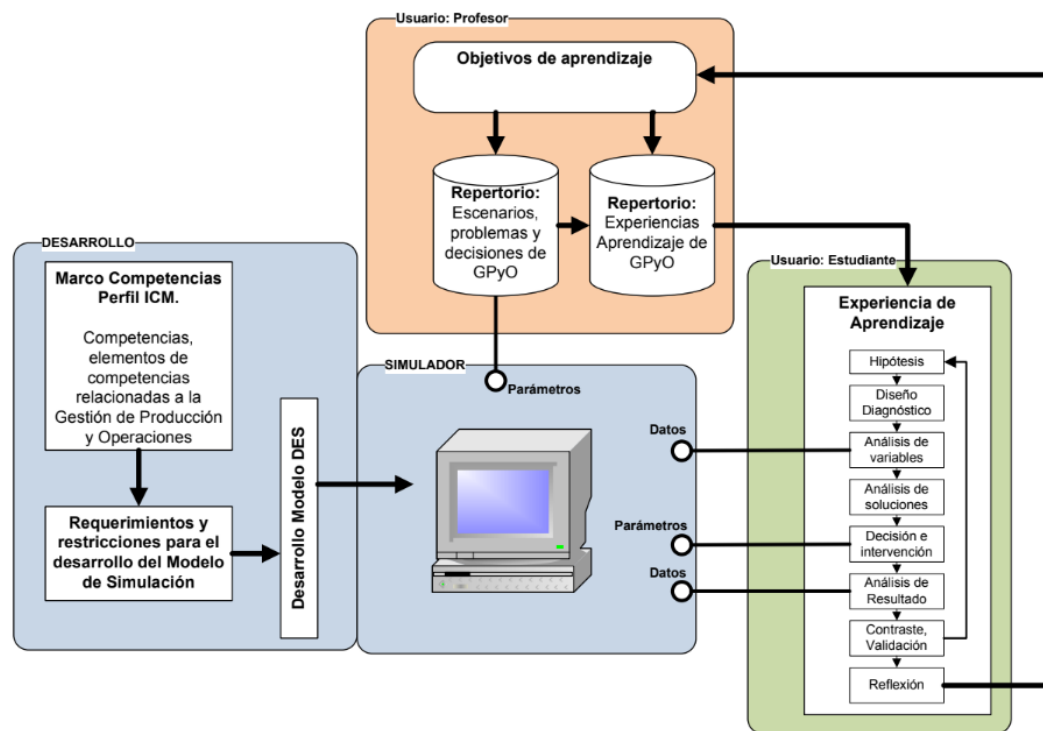


Figura 12: Esquema conceptual de Herramienta de Simulación para el desarrollo de competencias y evaluación de resultados de aprendizaje (Elaboración propia).

2.3 Requisitos fundamentales de las experiencias de aprendizaje en laboratorio

Para poder realizar un diseño lógico de simulación para cada laboratorio, es necesario definir conceptualmente las características relevantes en la formulación de estos, con la finalidad de lograr una base robusta para el diseño de los modelos. Es por esto que la asignatura de Gestión de Producción y Operaciones propone

dictar laboratorios, mediante el software de simulación SIMIO®, que deben hacer referencia a la competencia específica y los objetivos de aprendizaje: Medir y mejorar el desempeño de sistemas de Gestión de Producción y Operaciones en condiciones de simuladas en laboratorio por medio de un tratamiento estadístico de variables aleatorias presentes en el proceso de simulación.

En concreto, el objetivo de realizar estos laboratorios, mediante esta herramienta computacional, es acercar al estudiante a comprender los desafíos que se presentan a nivel profesional, en donde las variables aleatorias juegan un rol importante en los problemas, y no es posible considerarlas en un planteamiento tradicional de cátedra. Para esto, un requisito fundamental que debe ser parte del laboratorio es que a los y las estudiantes se les entregue información que se irá recogiendo durante el proceso de simulación a medida que las variables de estado vayan cambiando de valor, mediante una hoja de cálculos en el software Excel. Estos datos posteriormente serán analizados por los y las estudiantes para poder tomar decisiones acertadas desarrollando las competencias sello UTFSM como competencias específicas de un ICM.

En la planificación de la asignatura, se proponen cuatro laboratorios que permitan evaluar los conocimientos visto en clases:

- 1) Análisis de desempeño de procesos. Indicadores de Efectividad y productividad
- 2) Evaluación y mejoras de políticas de gestión de inventarios.
- 3) Evaluación y análisis de la planificación de la producción.
- 4) Evaluación y análisis de la programación de la producción.

Si bien se plantean cuatro laboratorios, en los que se hace hincapié en el diagnóstico y análisis de conceptos diferentes, esto no quiere decir que no se pueda generar una única plataforma de simulación que sea capaz de englobar o evaluar todos los conceptos que se relacionan con las actividades de aprendizaje propuestas anteriormente. Esto, ya que un puesto de manufactura, o un taller productivo, se relaciona con todos los conceptos que se requieren analizar.

3. DEFINICIÓN DEL MODELO CONCEPTUAL DE LOS MODELOS DE SIMULACIÓN

El presente capítulo exhibe la intención de diseño de cada uno de los modelos de simulación; las variables que se consideran dentro de las propuestas; la lógica de funcionamiento de éstos.

Tal como se menciona en la Sección 2.3, es necesario generar modelos de simulación que permitan evaluar planificación y programación de la producción; análisis de modelos de inventario; como también productividad y efectividad operacional. Así, para poder realizar esto, se proponen dos modelos de simulación: un taller de Producción y un sistema de operación tipo almacén.

El taller de Producción que se quiere desarrollar tiene la estructura de una maestranza, donde existen máquinas y operadores. La potencialidad que se quiere dar al modelo de Producción es que sea de carácter modular. Es decir, que el usuario sea capaz de definir la cantidad de máquinas, operadores, productos a realizar y sus características. Así, será posible que las experiencias de aprendizaje se adecuen al nivel de complejidad que se requiera.

Por otra parte, el sistema de operación tipo almacén tiene la estructura de un centro de ventas. En este, es posible evaluar dos tipos de políticas de inventario: modelo de periodo y pedido fijo. Se trabaja con un solo tipo de artículo que, según la política de inventario, y a medida que se consuma el producto, se reabastece. Además, dependiendo de la cantidad de demanda y la cantidad de existencias, existirán clientes que producto de la larga espera para adquirir el producto, no comprarán.

El procedimiento de trabajo considera un planteamiento modular de los Laboratorios, que permita disponer de la capacidad para poder generar distintos escenarios y experiencias de aprendizaje para distintos estudiantes, escalables al nivel de complejidad que se requiere al realizar la experiencia de aprendizaje. Y así, poder evaluar de manera concreta indicadores de gestión a nivel de producción y

operaciones. Además, la relación que poseen los elementos del sistema permite entender de manera óptima la operación de la planta y las políticas de inventario, respectivamente, de modo que facilite el entendimiento del comportamiento de los procesos.

3.1 Definición conceptual de las variables a considerar en los laboratorios

Para construir un modelo conceptual, es necesario definir las variables de decisión que estructuran la herramienta didáctica a través del simulador. Como punto de partida se considera el método de las 6M. De la Vara y Gutiérrez definen las 6M como: Métodos de trabajo, mano o mente de obra, materiales, maquinaria, medición y medio ambiente [16]. Estos elementos determinan la variabilidad del proceso global, donde cada uno de éstos aporta la variabilidad respectiva.

El diseño conceptual de la propuesta de laboratorios considera 3M: mano de obra, materiales y maquinarias, dejando fuera las “M” de medio ambiente, mediciones y métodos de trabajo. La variabilidad del medio ambiente nace a partir de las condiciones sociales, cultura organizacional de la empresa, del lugar y país en cuestión, entre otras. Asimismo, los métodos de trabajo se definen a partir de los estándares de procedimientos; y, si existen definiciones operacionales o procedimientos alternativos. Si se considerasen estas fuentes de variabilidad para el diseño conceptual de la propuesta, serían complejas de modelar. Cabe mencionar, que la propuesta se debe focalizar en el acercamiento de los estudiantes a un contexto productivo, de características similares a la industria, considerando variables aleatorias. Sin embargo, también es necesario que el modelo no sea demasiado complejo, a fin de que los estudiantes no pierdan el foco que se relaciona con el aprendizaje a través de este tipo de herramienta y así, logren desarrollar competencias.

En la Tabla 2, es posible apreciar las variables que se consideran para definir la variabilidad de la materia prima. Cabe destacar que las variables mencionadas corresponden a cada lote de materia prima.

Tabla 2: Variables que se consideran en la definición del modelo conceptual en relación con la Materia Prima.

Materia prima	
Variables Input	Variables Output
Distribución de tiempo de abastecimiento de materia prima desde proveedor.	Tiempo de transporte de materia prima desde proveedor.
Cantidad de materia prima disponible para ejecutar la orden.	Cantidad demandada de producto terminado.
Tipo de política de inventario por materia prima.	
Costo unitario de materia prima	

En la Tabla 3, es posible apreciar las variables que se consideran para definir la variabilidad de la mano de obra. Una de las características que se desea dar a los modelos de simulación es que permitan algunos eventos realistas, como por ejemplo: ausencias, atrasos y eficiencia, como por ejemplo: la probabilidad de llegar tarde a la estación de trabajo. Para esto, se propone que exista una probabilidad de inicio del turno del trabajador ya sea al inicio de la jornada laboral, después del almuerzo, o de algún descanso programado. Dicha probabilidad es definida para cada operario.

Tabla 3: Variables que se consideran en la definición del modelo conceptual en relación con la Mano de Obra.

Mano de obra	
Variables Input	Variables Output
Calendario de trabajo o tiempo programado para cada trabajador.	Tiempo utilizado para cada trabajo realizado.

Eficiencia de cada trabajador por máquina.	Tiempo de llegada tarde a la estación de trabajo.
Probabilidad de llegar tarde a la estación de trabajo debido a ausencias.	
Costo unitario de mano de obra	

En la Tabla 4 se presentan las variables que se consideran para definir la “M” de maquinaria. Cabe mencionar que el tiempo de la orden depende también de la cantidad de producto que se está fabricando según la cantidad solicitada por cliente.

Tabla 4: Variables que se consideran en la definición del modelo conceptual en relación con la Maquinaria.

Maquinaria	
Variables Input	Variables Output
Tiempo de calendario de trabajo o programación por máquina.	Tiempo real de procesamiento de producto i por máquina.
Distribución de tiempo de proceso por producto i (media y variabilidad).	Capacidad de cada maquinaria.
MTBF por máquina.	
MTTR por máquina.	
Costo unitario de uso de maquinaria.	

En la Tabla 5 es posible apreciar las variables que se consideran para definir la variabilidad de la Calidad.

Tabla 5: Variables que se consideran en la definición del modelo conceptual en relación con la Calidad.

Medición	
Variables Input	Variables Output
Tasa de rechazo por producto.	Cantidad de productos rechazados.

Estas propuestas de variables según cada fuente de variabilidad son ejemplos concretos que inciden directamente en el resultado de la producción. El objetivo es lograr que los estudiantes analicen las variables de salida de la

producción y operaciones y puedan generar un diagnóstico y posteriormente realizar mejoras al sistema. Si bien este tipo de caso de estudio busca replicar una industria real, cada sistema poseen grados de complejidad distintos y con más variables que considerar. Sin embargo, ayuda a que el estudiante se familiarice con variables que están presentes en todo proceso productivo.

3.2 Propuesta de Laboratorio de Producción para experiencia de aprendizaje

El modelo de simulación se basa en un taller de Producción. Tiene como objetivo evaluar tópicos referentes a la planificación, programación, análisis de efectividad y productividad en un taller tradicional de producción.

Para la elaboración del laboratorio de Producción, los límites del sistema se consideran desde la zona de entrada de material al taller hasta la salida de material en el mismo. No se incluye la cadena de suministros previa y posterior al taller.

Este modelo, funciona con sistema de turnos, operadores y máquinas a definir por el profesor a cargo. No se define un rubro en específico, sino que trata de englobar lo más general posible para acercar al estudiante a las variables que se trabajan en la industria. Es posible elaborar N cantidad de productos con su respectiva estructura de producto y secuencia productiva específica, donde cada una de las materias primas son reabastecidas desde el centro de distribución. Se asume que la simulación comienza en un momento específico del proceso productivo a simular, por lo tanto, existirán productos que ya han iniciado su secuencia de fabricación. A estos productos se les denomina Work In Process (WIP). También existen productos que no han iniciado esta secuencia y se les denomina Nuevos.

Considerar que cada operador y máquina poseen su propia eficiencia y capacidad. Además, se le atribuye la condición que el operador cada vez que inicie un turno productivo, posea una probabilidad de llegar tarde. Por otra parte, las máquinas poseen Tiempo Medio entre Fallas (MTBF) y Tiempo Medio de

Reparación (MTTR), tal como es en el ámbito profesional. También, el usuario debe definir el layout a trabajar, es decir, la ubicación física de las máquinas. Por último, y tal como sucede en el ámbito profesional, existen operadores que son capaces de manejar cierto tipo de máquinas. Es necesario ingresar qué máquina es capaz de manipular cada operador.

Se considera una etapa de medición de calidad del producto en la etapa final de la secuencia productiva, con la finalidad de rechazar o autorizar el despacho del producto.

Supuestos y simplificaciones generales para la propuesta de Laboratorio de Producción

- a) La variabilidad proveniente de los Métodos de Trabajo y Medio Ambiente quedan fuera de la propuesta de laboratorio de Producción debido a la complejidad que trae consigo la evaluación de estas fuentes de variabilidad, en un contexto de nivel inicial en la relación software – estudiante. Por lo tanto, la simulación no considera condiciones ambientales ni métodos de trabajo.
- b) Se consideran los indicadores asociados a las detenciones de máquina (MTBF y MTTR).
- c) La política de reposición del material está definida mediante un punto de reorden, donde se hace una nueva solicitud de material a medida que pasa un umbral de stock.
- d) Se asume que para los productos WIP (pedidos que ya poseen un proceso productivo iniciado a la hora de iniciar la simulación), ya fue iniciado su proceso productivo una vez que se inicia la simulación. Por lo tanto, no existe asignación de trabajos WIP durante un tiempo distinto al inicio de la simulación. Además, se asume que se lleva un control acumulado de los costos hasta el minuto del ingreso del trabajo.
- e) No hay reprocesamiento de las órdenes. Solo existen ordenes rechazadas o aceptadas.

- f) Se asume una característica nominal de calidad para cada tipo de material requerido, que puede ser modificada.
- g) No se consideran políticas de inventario de producto terminado, sino que se producen al instante de tener la orden mediante metodología JIT.
- h) No se considera entrega parcial de la producción. Es decir, si la cantidad solicitada es mayor que la cantidad en stock, no se despacha el stock.

3.2.1 Lógica de funcionamiento de propuesta de Laboratorio de Producción para experiencia de aprendizaje

En la Figura 13 es posible observar la estructura lógica de funcionamiento de la propuesta de laboratorio de Producción. En rojo, el flujo de información ya sea de entrada o de salida. Es decir, todos los datos necesarios para poder concretar las órdenes y los reportes de información que se entregan vía Excel. En blanco, se presenta el flujo físico del proceso productivo, como el flujo de materiales, distribución de la maquinaria y, distribución de los operarios, entre otros.

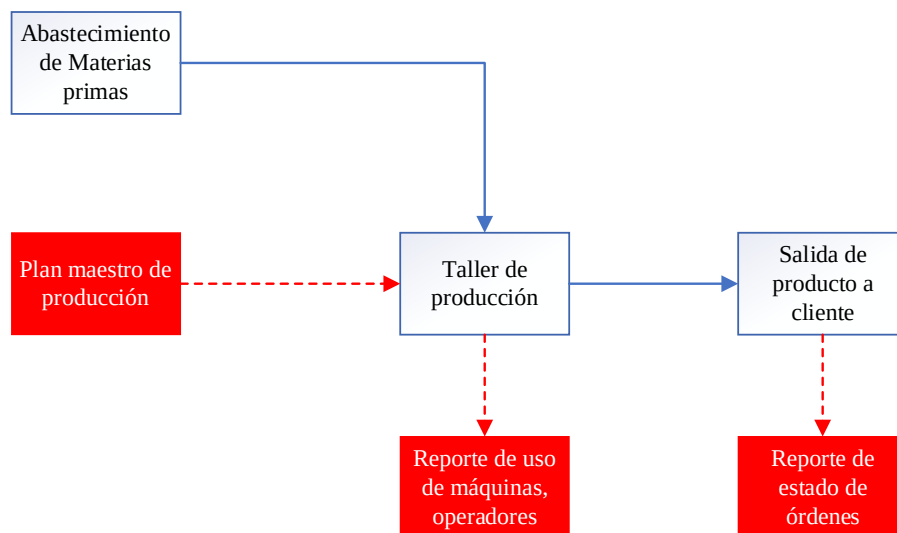


Figura 13: Estructura de la lógica de funcionamiento de empresa productiva.

En la Tabla 6, se señalan y describen cada una de las actividades de flujo físico de la lógica del proceso productivo como parte de la definición del modelo conceptual de la propuesta de laboratorio de simulación computacional.

Tabla 6: Descripción de las actividades de flujo físico del proceso lógico productivo.

Actividad	Descripción
Abastecimiento de materias primas desde centro logístico hasta taller.	Llegada del material desde la bodega de materia prima hasta el taller. Se considera la distribución de probabilidad de tiempo de llegada desde el centro logístico hasta la Taller de Producción.
Taller de producción	Se considera toda la cadena de producción: tiempo característico de procesamiento y su variabilidad, en cada máquina, secuencia de proceso productivo, operadores, control de calidad al final del proceso, MTBF y MTTR por máquina y la programación indicada por cada máquina junto con su capacidad. En términos de la mano de obra se consideran todas las variables descritas en la Tabla 3.
Salida de producto terminado a cliente	Tiempo de ciclo de la orden por producto, cantidad de producto despachado.

En la Tabla 7 se presenta la descripción de cada actividad de datos de la lógica del proceso productivo como parte de la definición del modelo conceptual de la propuesta de laboratorio de simulación computacional.

Tabla 7: Descripción de las actividades de flujo de datos del proceso lógico productivo.

Actividad	Descripción
Programación de la producción	Se ingresa la programación de la producción considerando: Tipo y cantidad de producto terminado a fabricar, tiempo de ingreso al Taller de Producción. La prioridad de la orden de trabajo, indicando si el producto ingresado es una orden WIP o es un nuevo producto. Además, debe

	mencionarse la estructura de producto o BOM.
Reporte de uso de máquinas, operadores	Por cada máquina se debe entregar un reporte señalando: Tiempo de inicio y fin del trabajo de cada orden de producto, tiempo de parada de máquina (si lo hubiera), nombre de la máquina. Además, por cada operador se debe entregar un reporte señalando: Nombre de operador, tiempo de atraso (si lo hubiera), tiempo de inicio de trabajo y tiempo de fin de trabajo.
Reporte de estado de órdenes	Se genera informe que indica: Nombre de la orden, el nombre de material que procesa, el nombre de la máquina que procesa, la cantidad entregada, el tiempo de inicio/finalización programado. Además, considera el parámetro de calidad controlado por cada máquina proveniente del equipo de calidad. También se entrega el costo total de producción de la orden y si cumple con la fecha de despacho.

3.3 Propuesta de Laboratorio de Políticas de Inventario para experiencia de aprendizaje

El modelo de simulación se basa en un sistema de operación tipo Almacén. Tiene como objetivo evaluar tópicos referentes a políticas de inventario considerando: Política de Inventario de Pedido y Periodo Fijo.

Para la elaboración del laboratorio de Políticas de inventario, los límites del sistema se consideran desde el proveedor de materia prima hasta el cliente final.

Este modelo, considera una tienda que vende un tipo de producto, donde la demanda de este es representada por la llegada de personas que poseen correlacionada una distribución de probabilidad de requerimientos de producto. Así, al momento de llegar al mesón de ventas, se concreta la compra. Este procedimiento puede ser demorado por una falta de disponibilidad de Mano de Obra (ausentismo) o fallas en los Medios de manejo de información, como el computador. Por otra parte, y según la política de inventario, se reabastece la bodega de producto según los parámetros ingresados. Por último, dependiendo de los parámetros de reabastecimiento, es posible que exista quiebre de stock. Si ocurre esto, se genera una espera por parte de cliente hasta que llegue el producto. Sin embargo, dependiendo de la cantidad de personas esperando, es posible que abandonen la tienda y no se concrete la compra.

Supuestos y simplificaciones generales para el escenario propuesto

- a) La variabilidad proveniente de los Métodos de Trabajo, Medio Ambiente y Medición quedan fuera de las propuestas de laboratorio debido a la complejidad que trae consigo la evaluación de las fuentes de variabilidad, en un contexto de nivel inicial en la relación software – estudiante. Por lo tanto, la simulación no considera condiciones ambientales, de medición ni métodos de trabajo.
- b) No hay reprocesamiento de las órdenes. Solo existen ordenes rechazadas o aceptadas.
- c) No se considera entrega parcial de lo requerido. Es decir, si la cantidad solicitada es menor que la cantidad en stock, no se despacha el stock.
- d) La frecuencia de la demanda es continua.

3.3.1 Lógica de funcionamiento de propuesta de Laboratorio de Políticas de Inventario para experiencia de aprendizaje

En la Figura 14 es posible observar la estructura lógica de funcionamiento de la propuesta de Laboratorio de Políticas de Inventario. En rojo se muestra, el flujo de información ya sea de entrada o de salida. Es decir, todos los datos

necesarios para poder concretar las órdenes y los reportes de información, que se entregan vía Excel. En blanco, se presenta el flujo físico de la cadena de suministros, como el movimiento de personas generando el proceso de compras, movimiento de órdenes de reabastecimiento y productos de venta.

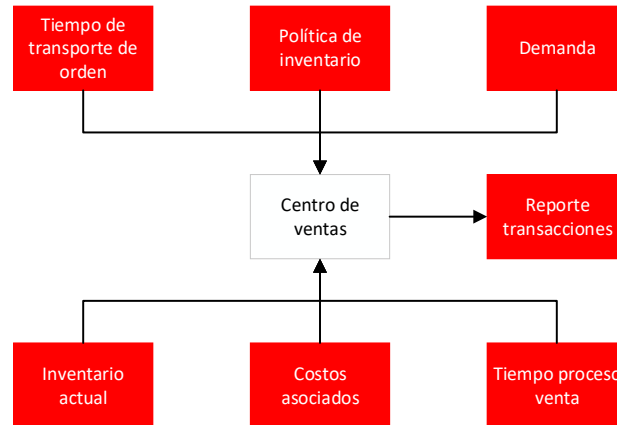


Figura 14: Estructura de la lógica de funcionamiento de cadena de suministros.

En la Tabla 8, se presenta la descripción de cada actividad de flujo de datos de la lógica del laboratorio de políticas de inventario como parte de la definición del modelo conceptual de la propuesta de laboratorio de simulación computacional.

Tabla 8: Descripción de las actividades de flujo de datos del proceso lógico de la cadena de suministros.

Actividad	Descripción
Tiempo de abastecimiento de material	Distribución de tiempos de transporte de la orden desde el proveedor hasta el inventario.
Demanda	Demanda como una función de distribución de probabilidad o función constante. Esta debe incluir la cantidad a demandar y el tiempo entre la llegada de cada cliente.
Política de inventario	Tipo de política de inventario del producto gestionado.

Costos asociados	Parámetros de los siguientes costos: emisión de orden, mantenimiento, insatisfacción de la demanda y del material específico.
Tiempo de procesamiento de pedido de ventas.	Distribución de probabilidad del tiempo que demora el vendedor en procesar la venta del producto en el mesón de compras.

Para esta propuesta de laboratorio de inventario, no se considera la variabilidad asociada a las “M” de medición, además de las fuentes de variabilidad mencionadas en el inciso 3.1. Esto, ya que según la lógica de funcionamiento planteada en la Figura 14 permite evaluar a detalle el tópico de políticas de inventario.

4. CONSTRUCCIÓN DE LOS MODELOS DE SIMULACIÓN

En este capítulo se presenta la construcción de los modelos de simulación mediante el software SIMIO. Se explica el funcionamiento de los laboratorios modulares, sus propiedades y requisitos.

En las secciones 4.1 y 4.2 de este capítulo se presentan dos propuestas de simulación que poseen la característica de generar distintos escenarios de producción y operaciones dependiendo de los parámetros y variables que se ingresan a través de la ventana tablas dentro de las ventanas de SIMIO. Estas tablas, se pueden relacionar gracias a Excel o en su defecto, rellanarlas en la misma opción de forma manual dentro de la interfaz.

4.1 Construcción del Modelo de Simulación del Laboratorio de Producción

El sistema que se desea representar con la propuesta de Laboratorio de Producción es un taller o planta productiva que permite generar productos terminados. Este, debe ser escalable a cualquier realidad o sistema de producción que se requiera modelar como, por ejemplo, una fábrica de empaques flexibles o una fábrica de partes de autos. El usuario debe ser capaz de ingresar tantas máquinas y operadores como se requiera, poder relacionar estas y analizar su comportamiento. Así, es posible trabajar distintas complejidades en las experiencias de aprendizaje dependiendo de las exigencias del curso.

En torno a lo anterior, cada máquina debe recibir información por medio de las variables declaradas en la Sección 3.2 de forma sencilla para el usuario. En SIMIO es posible incorporar las propiedades requeridas por cada máquina de forma manual en cada objeto inteligente. Sin embargo, esto dificulta la manipulación rápida y sencilla por parte del usuario. Es posible agregar esta información mediante tablas (en SIMIO llamadas Data Tables), donde se anexan los datos de propiedades de los objetos inteligentes y luego, relacionarlos con cada objeto respectivo. Pero

para poder realizar esto, en cada propiedad de los objetos inteligentes (OI), como una máquina productiva, se debe relacionar cada dato de las Data Tables, con las propiedades del OI.

Por otra parte, SIMIO pone a disposición del usuario objetos que permiten crear una distribución deseada y por medio de la modificación de sus mismas propiedades y variables, generar modelos de acuerdo con las situaciones de la realidad que facilita la toma de decisiones. Sin embargo, existen casos donde procesos del sistema real requieren ciertos comportamientos particulares que la librería estándar de objetos que ofrece el software no posee. Es por esto que una de las ventajas que posee SIMIO es la creación de objetos especializados en caso de requerir propiedades o lógicas de funcionamiento específicas al caso de estudio.

Para facilitar la realización del modelo para el usuario, se considera la creación de objetos inteligentes “personalizados” que se presentan en la Tabla 9. Estos objetos, son posibles de incorporarlos automáticamente en la ventana “Facility” si se configura la Data Table para auto crear los objetos una vez ingresados los datos.

Tabla 9: Representación de los objetos reales asociados con OI personalizado creado en SIMIO.

Objeto real	Objeto SIMIO	Nombre Objeto SIMIO
Máquina de producción	Server	Máquina
Operador para operar máquina	Worker	Operador
Entrada al taller de producción	Source	Entrega
Pedidos a producir	ModelEntity	ModelEntity
Permite trabajar secuencias productivas en paralelo	TransferNode	Unión

4.1.1 Tablas de asignación de datos para formulación modular de laboratorio

El modelo formulado dentro del software SIMIO, permite desarrollar modelos que pueden ser complejizados o simplificados de manera que el usuario del programa no tenga que ser necesariamente especialista. Esto se logra a partir de tablas de datos relacionados, una herramienta que facilita SIMIO y que permite mostrar o definir la relación sistémica de los datos.

Según lo explica Allen, Dean y Otamendi, existen columnas que se conocen como “*Primary key*” (PK) que posee un código único que identifica cada fila de la “columna padre” que denota una “columna hijo” presente en otra tabla, denominada “*Foreign key*”(FK) [4]. En la Figura 15 se presenta la configuración de las tablas relacionales presentes en el modelo de simulación. Cada rectángulo representa una tabla distinta dentro del modelo, y cada frase dentro de éstos, representa una columna. Además, cada columna dentro de la tabla representada en negrita corresponde a una PK y esta relaciona una FK presente en otra tabla, mediante una flecha.

En el ANEXO 1 se presenta la explicación de cada una de las tablas relacionadas utilizadas en el laboratorio de manufactura.

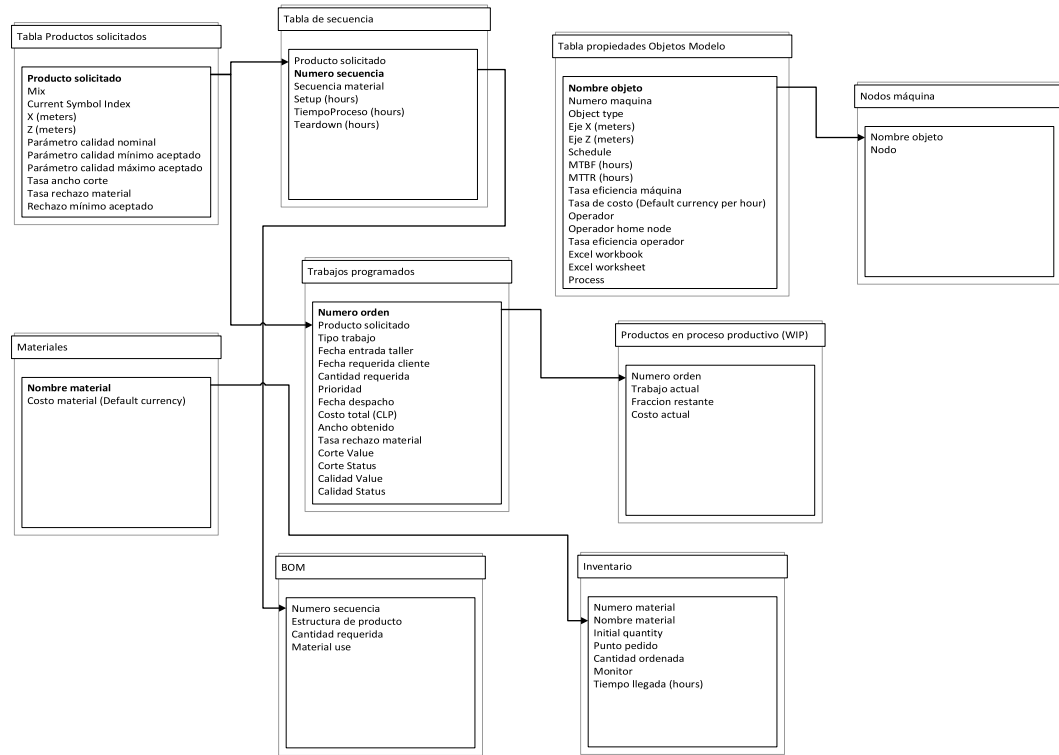


Figura 15: Representación de las tablas de datos relacionadas en el modelo de producción.

Al momento de ingresar al modelo, y dirigirse a la sección Data en las ventanas de SIMIO, hay que seleccionar la opción Datos, al costado izquierdo. Luego, aparece cada tabla de datos que es requerida. Así, para ingresar la información dentro de las tablas es posible hacerlo manualmente, o de alguna fuente de base de datos. Para acceder a esta última opción, se selecciona Contents – Create Binding, tal y como lo muestra la Figura 16. En este caso se utiliza una base de dato proveniente desde planillas Excel.

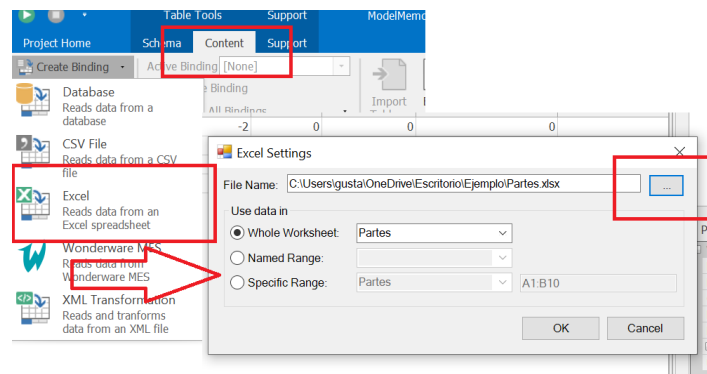


Figura 16: Pasos a seguir para ingreso de data a cada tabla utilizada en el modelo de simulación.

Una vez que todas las tablas han sido vinculadas, para que el modelo descargue la información, existen dos formas: darle inicio al programa y, luego, la información es incorporada de manera automática, o de forma manual tal y como muestra la Figura 17, donde es posible descargar una sola tabla o todas las relacionadas al modelo. Cabe señalar que, si se realizan cambios en una de las tablas del modelo, solamente es necesario apretar el botón “*Import current table*” nuevamente.

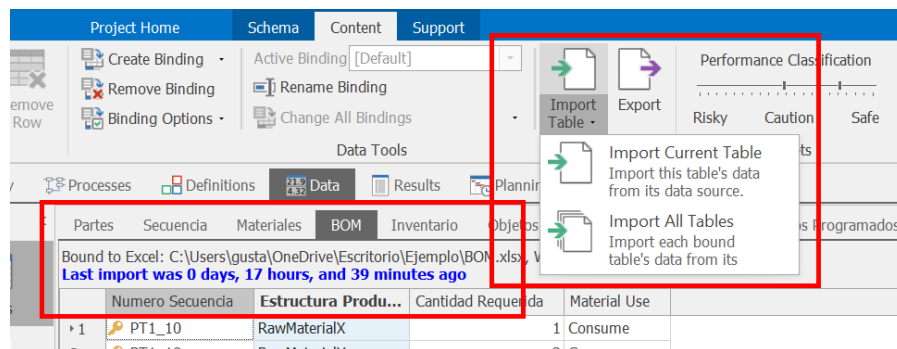


Figura 17: Forma de incorporar la información de las planillas Excel de manera manual.

Como consecuencia de lo anterior, en la Figura 18 es posible visibilizar el modelo generado automáticamente al importar todas las tablas del modelo desde las plantillas Excel.

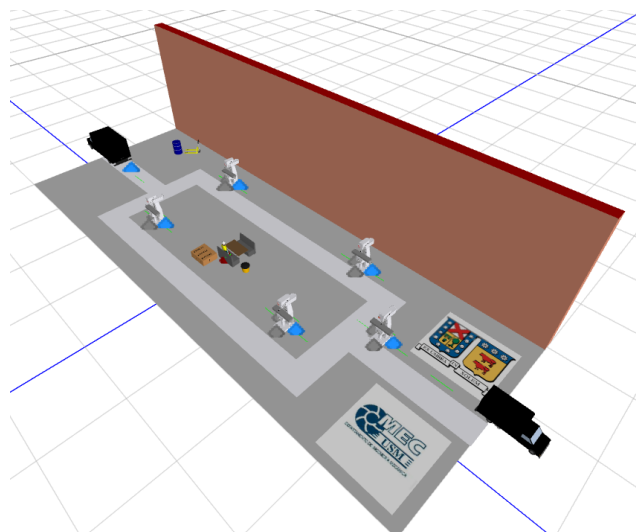


Figura 18: Representación de la fábrica de producción al momento de ingresar la data a las tablas mencionadas.

4.1.2 Modelamiento Máquina productiva

Para representar una máquina productiva, tal como se muestra en la Tabla 9, se crea el objeto Máquina, que se representa mediante un objeto Server y, que por defecto SIMIO lo mantiene como objeto disponible dentro de la “Standard Library”. No se considera una nueva estructura de sus procesos internos. Sin embargo, se crean dos asignaciones de variables de estado que no están presentes en las opciones de “*State Assignments*” que facilitan la toma de datos. Esto, se detalla a continuación en las detenciones no programadas.

Detenciones no programadas

Para la construcción de las detenciones no programadas, se debe sobre escribir sobre la lógica del proceso “*FailureOccurrenceLogic*”. El step *FailureTimeResetEvent* se corre hacia la izquierda, a fin de crear una lógica MTBF y MTTR para asociar el objeto a las tablas y que sea concordante con las políticas de mantenimiento. Además, se agregan dos steps Assign a la lógica de funcionamiento: *AssignmentsOnFailed* y *AssignmentsOnRepaired*, tal y como lo muestra la Figura 19. Cada uno de estos steps permite asignar nuevos valores a todos los State Variables que se ingresen a esta lógica de al momento de que la máquina falla y cuando la máquina es reparada.

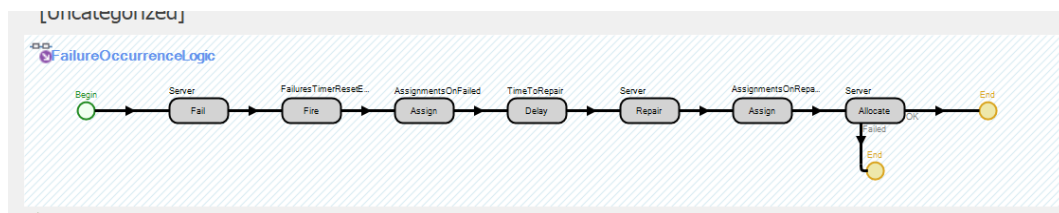


Figura 19: Lógica de funcionamiento de las paradas no programadas para el objeto máquina.

Para poder realizar la lógica mencionada anteriormente, se crean dos propiedades grupales llamadas *AssignmentsOnFailed* y *AssignmentsOnRepaired*. Estas propiedades grupales permiten anidar otras propiedades dentro de éstas y asignar nuevos valores a posibles variables de estado que se quieran incorporar a la

lógica de cada máquina en particular. Esta anidación de propiedades se vislumbra cuando se selecciona la máquina utilizada en la propiedad *State Assignments Failed* y aparecen tres puntos para asignar nuevos valores a variables de estado, tal y como lo muestra la Figura 20.

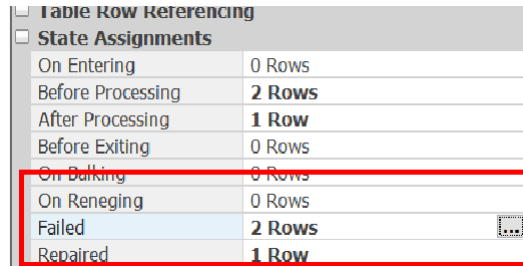


Figura 20: Esquema de vista de las propiedades *AssignmentsOnFailed* y *AssignmentsOnRepaired* en objeto máquina una vez ingresado el objeto en la *Facility View*.

La Tabla 10 indica los detalles de la creación de las propiedades mencionadas anteriormente.

Tabla 10: Detalle de la creación de las propiedades para la falla del equipo.

Nombre propiedad	Tipo de propiedad	Categoría	Descripción
AssignmentsOnFailed	Reapiting Group	State Assignments	Propiedad que permite dar valor a variables de estado cuando falla el equipo.
AssignmentsOnRepaired	Reapiting Group	State Assignments	Propiedad que permite dar valor a variables de estado cuando se repara el equipo.

Además, para la creación de cada propiedad, se deben crear dos sub – propiedades anidadas a cada “*reapiting group*”: una propiedad *State* y una propiedad *Expression*. Estas, permiten la asignación efectiva de los valores de las variables de estado. En la Tabla 11 se presentan las propiedades anidadas a *AssignmentsOnFailed*. Cabe destacar que para la creación de

AssignmentsOnRepaired se consideran las mismas propiedades, pero enfocadas a la reparación del equipo.

Tabla 11: Sub – Propiedades para AssignmentsOnFailed que permiten escribir valores a variables de estado.

Nombre propiedad	Tipo de propiedad	Categoría	Descripción
AssignmentsOnFailed StateVariableName	State	Basic Logic	Define la variable de estado que es necesario asignarle valores nuevos.
AssignmentsOnFailed NewValue	Expression	Basic Logic	Valor que se le da a la variable de estado respectiva.

Características para la representación modular del modelo

Para poder crear el objeto máquina de manera automática, y que adquiriera las características definidas por el usuario (profesor a cargo), se deben referenciar las propiedades en el objeto especializado a las Data Tables y así, poder darle valores que permitan extraerlos desde las tablas de datos relacionados. Por consecuencia, al momento de crear el objeto, los valores asociados a cada máquina serán los correctos y facilitará el modelamiento al usuario. En la Tabla 12 se presenta la asignación de valores a cada propiedad del objeto máquina.

Tabla 12: Propiedades asignadas del objeto máquina.

Descripción	Propiedad	Valor
Programación por calendario para la máquina.	Capacity Type	WorkSchedule
Calendario que se rige la máquina, con día específico y horario.	WorkSchedule	ObjetosModelo.Schedule
Cada vez que se le asigne un operador, inmediatamente relaciona uno si hay uno disponible.	Inmediately Try Seize	True

Cuando se termine el tiempo de proceso, queda disponible el operador para realizar otra tarea.	Immediately Try Allocate when released	True
Tipo de falla asignada al equipo.	Failure Type	Calendar Time based
Valor de MTBF asignada en la Tabla ObjetosModelo.	Uptime between failures	ObjetosModelo.MTBF
Valor de MTTR asignada en la Tabla ObjetosModelo.	Time to repair	ObjetosModelo.MTTR
Costo de no uso de máquina estando disponible para asignación de órdenes.	Idle Cost Rate	ObjetosModelo.TasaDeCosto
Costo de uso de máquina estando disponible para asignación de órdenes.	Usage Cost Rate	ObjetosModelo.TasaDeCosto

Además, para las tareas de proceso se asigna una propiedad al objeto máquina llamada Processing Tasks. La ventaja de utilizar esta propiedad, a diferencia de utilizar un objeto WorkStation o simplemente utilizar la propiedad Processing Time, es la versatilidad de tareas que es posible generar. Estas, son tareas en secuencia que las define el usuario. El formato de los números de secuencia siguen una estructura del tipo XX.YY.YY, donde XX corresponde a números enteros decimales que van de 10 en 10 y es secuencia dominante que determina la secuencia serial precedente y procedente de tareas a realizar. Por otra parte, YY corresponde a una secuencia opcional que define tareas que se desarrollan en paralelo. Por ejemplo, se define la primera tarea con el número de secuencia 10 y, por lo tanto, la primera tarea en realizarse. En seguida, se realiza la tarea 20.1 y de forma paralela 20.2.

Por lo tanto, se asignan tareas de secuencia para el objeto Máquina. Las “processing tasks” se asignan con número de secuencia del 10 al 50. En la Tabla 13 se presentan las tareas de secuencia con una descripción de cada una de las tareas. El detalle de las tareas y las condiciones aplicadas, se presentan en el ANEXO 2 consideradas para el objeto máquina. Sin embargo, es necesario comentar que en el

proceso de set – up, proceso y teardown de cada máquina, se requiere un trabajador para realizar la operación. El objeto, evalúa la cantidad habilitada de operadores que están disponibles para realizar el trabajo, así como la condición de que el trabajador esté apto para operar la máquina. Luego, con una condición, éste elige el trabajador habilitado con mayor porcentaje de eficiencia.

Tabla 13: Processing Tasks definidas para el objeto máquina.

Descripción	Número de secuencia	Tarea
Se define si el objeto consume material o no dependiendo de la secuencia de producción que esté la entidad.	10	Consumo
El tiempo de setup para cada material siempre y cuando sea una orden nueva. Si es WIP, se salta el paso.	20	Setup
Tiempo de proceso por la orden completa. Si es WIP, se considera la fracción de proceso restante.	30	Process
Tiempo de teardown para la orden completa.	40	Teardown
Se define si el objeto produce material o no dependiendo de la secuencia de producción que esté la entidad.	50	Produce

Por último, cabe señalar que el TransferNode asociado al objeto máquina, debe estar asignado “By Sequence” para que la entidad fluya desde un proceso a otro.

4.1.3 Modelamiento Operador de taller

Para representar a los operadores del taller, se crea el objeto Operador. Éste, se modela mediante el objeto Worker proporcionado por la “Standard Library” de SIMIO. Este operador, se le incorpora lógica de funcionamiento para poder adquirir el evento de llegar tarde a los turnos de trabajo. Además, se le modifican parámetros para que sea posible su creación automática tal como se hizo con el objeto Máquina. Así, en la Tabla 14 se presentan la descripción del valor, junto con las propiedades intervenidas, y el nuevo valor asignado.

Tabla 14: Propiedades asignadas del objeto Operador.

Descripción	Propiedad	Valor asignado
Costo asociado al uso del objeto operador por cada entidad procesada en horas.	ResourceUsage CostRate	ObjetosModelo. TasaDeCosto
Programación por calendario para el operador.	Capacity Type	WorkSchedule
Velocidad de desplazamiento del operador.	Initial Desired Speed	Operador.Rapidez
Calendario que se rige el operador, con día específico y horario.	WorkSchedule	ObjetosModelo. Schedule
Nodo inicial de desahogo de operador mientras no esté realizando tareas.	Initial Node	ObjetosModelo. OperadorHomeNode
Probabilidad de que el operador llegue tarde al inicio del cambio de turno.	Prob llegar Tarde	Operador. TasaLlegadaTarde
Distribución de tiempo de llegada tarde, si es que el operador llega tarde.	Min tarde	Operador. TiempoTarde
Indica que mientras el operador no esté realizando trabajos, descansa en su nodo inicial.	Idle Action	Park at home
Indica que mientras el operador esté fuera de su horario laboral, descansa en su nodo inicial.	OffShift Action	Park at home

Es un requisito designar un trabajador a cada máquina que solicite realización de una orden de trabajo. Sin embargo, la elección del operador no es al azar. La elección del trabajador es mediante el objeto Máquina, donde este objeto relaciona la cantidad de operadores disponibles en ese minuto para realizar la faena, si el trabajador está habilitado para manipular la máquina (esto se define en la Tabla 78), así como la máxima eficiencia que entrega el operador al realizar una operación.

Por cada operador utilizado y material a producir, se presenta una eficiencia distinta en la secuencia de producción. Lo anterior, para que el modelo permita algunos eventos realistas, como la experiencia del uso de la máquina i, mayor

manejo del material, entre otros. Para lograr esto, se incorporan variables de estado en el objeto Material (ModelEntity), tal y como lo muestra la Tabla 15.

Tabla 15: Definición variables eficienciaOperador y FraccionRestante en Objeto Model Entity con el objetivo de llevar información de la orden de trabajo.

Nombre variable	Tipo variable	Objeto
EficienciaOperador	Real	ModelEntity
FraccionRestante	Real	ModelEntity
Cost	Real	ModelEntity

Además, es necesario que en cada proceso donde la máquina esté trabajando, se le asigne la eficiencia específica. Es por esto, que el proceso *DatosOperador* es creado. El step Search, busca el trabajador asignado para el trabajo enrolado a la máquina respectiva. Una vez encontrado ese operador, asigna la eficiencia del operador a la variable de estado *ModelEntity.EficienciaOperador* en el step Assign, tal y como lo muestra la Figura 21.

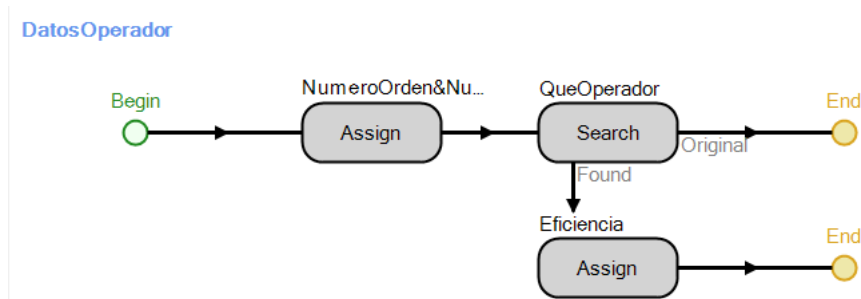


Figura 21: Asignación eficiencia operador a trabajo respectivo.

Para generar la lógica de funcionamiento para la llegada de los operadores tarde a su sector de trabajo, al momento de entrar a un turno nuevo se presentan la Figura 22 y Figura 23.

Con la finalidad de darle al objeto Operador, al momento de iniciar un nuevo turno, la característica de gatillar el evento de llegar tarde o no a la estación de trabajo, se presenta la Figura 22. Si la situación de ausentismo se concreta, el

trabajador llegará tarde a su puesto de trabajo. Para modelar esto, se debe ingresar la distribución de probabilidad que define la cantidad de tiempo tarde por cada operador. Para lograr esto, se modifica el proceso *OnCapacityChanged* y se ingresa un step *decide*, que permite gatillar el evento de llegar tarde al trabajo, mediante una propiedad de distribución de probabilidad discreta definida por el usuario, *Probabilidad_llegar_tarde*. Luego, para llevar los datos al modelo, se crean dos variables de estado “*Reapiting group*”: *AssignmentsOnLate* y *AssignmentsOnTime*, que permiten exportar la información a la planilla Excel, del tiempo de ausentismo o tardanza a la llegada del puesto de trabajo del operador. Por último, entre estas dos asignaciones de variables de estado, se incluye el tiempo de espera que permite modelar la cantidad de minutos tarde que llega un operador, mediante un step *Delay*. Este step está relacionado con la propiedad referencial *Minutos_tarde*. Ambas propiedades referenciales se asignan a la categoría *Atraso*, para permitir verlas en las propiedades generales del objeto *Operador*.

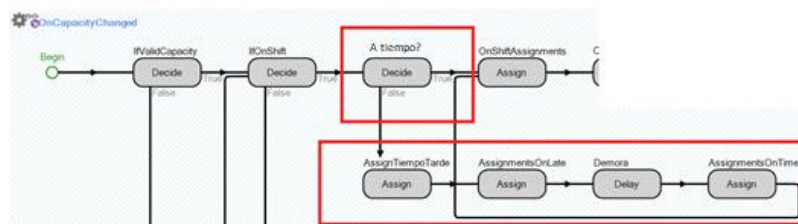


Figura 22: Modelación del proceso de llegada tarde de los operadores al puesto de trabajo al inicio de cada turno.

Si un operador llega tarde a su estación de trabajo, se debe guardar el tiempo en la variable de estado destinada para esto (*Minutos_Tarde*). Sin embargo, si este evento se gatilla, la cantidad de minutos tarde queda en la lógica interna del objeto SIMIO sin la posibilidad de registrar esta cantidad de tiempo en las planillas Excel. Por otro lado, un objeto *Worker*, no permite registrar los tiempos que está siendo ocupado ni tampoco cuando es liberado. Para poder capturar la data del objeto y llevarla al modelo general, se modifican los procesos *OnCapacityAllocated* y *OnCapacityReleased* que están presentes dentro de las propiedades características del objeto *Operador*. Una vez dentro de estas, se ingresan los steps *Assign AllocatedStateAssignments* y *ReleasedStateAssignments*, que permiten tomar los

tiempos una vez es Ocupado y Liberado el objeto, respectivamente, tal como se muestra en la Figura 23. Dentro de cada uno de estos steps, se ingresan propiedades creadas para poder capturar el tiempo de utilización del objeto Operador, llevarlo al modelo general y extraerlo mediante planillas Excel. Estas propiedades se presentan en la Tabla 16.

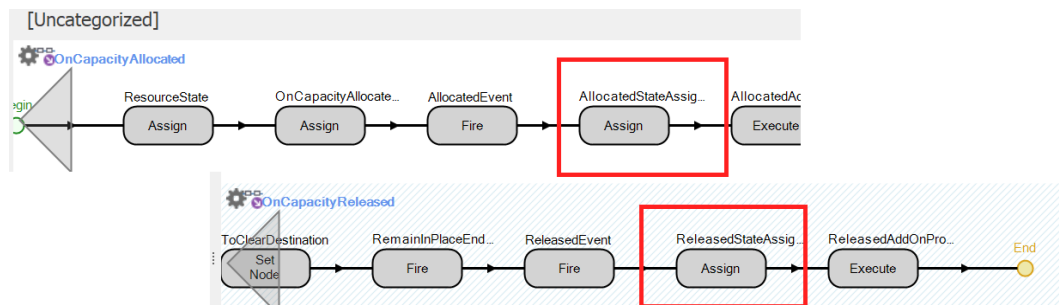


Figura 23: Modelación para el proceso (Ocupar – Liberar) de los operadores asignados a cada proceso de operación.

Tabla 16: Propiedades del operador para llevar la información requerida hacia el modelo general.

Descripción	Nombre propiedad	Tipo de propiedad	Categoría
Propiedad que permite dar valor al inicio de la llegada tarde del operador.	AssignmentsOnLate	Reapiting Group	State Assignments
Propiedad que permite dar valor al final de la llegada tarde del operador.	AssignmentsOnTime	Reapiting Group	State Assignments
Propiedad que permite dar valor al tiempo de inicio de proceso del operador.	AssignmentsOn Allocated	Reapiting Grupo	State Assignments
Propiedad que permite ingresar el valor al tiempo de final de proceso del operador.	AssignmentsOn Released	Reapiting Grupo	State Assignments
Propiedad referenciada que permite ingresar la probabilidad que tiene el	Probabilidad_ Llegar_tarde	Expression	Atraso

operador a llegar tarde al inicio de turno.			
Propiedad referenciada que permite ingresar la distribución de tiempo tarde para el operador.	Minutos_tarde	Expression	Atraso

Por último, tal como muestra en la Tabla 75, es necesario ingresar un nodo de descanso para los operadores. En la Facility View existe un objeto animación de descanso para estos donde un nodo *MyTransferNode* sirve como *Home node* o *Initial Node* tal como los operadores están referenciados a la Tabla ObjetosModelo así como lo muestra la Tabla 14 y Tabla 86. El nodo está ubicado en una referencia cartesiana X – Z con valores (6,-0.25).

4.1.4 Modelamiento entrada de órdenes al taller de producción

Para modelar la entrada de órdenes al taller de producción, se crea el objeto Entrada Orden. Este, utiliza el objeto Source, proporcionado por la “Standard Library” de SIMIO. Este objeto no posee una intervención dentro de su orgánica de procesos, sino que se crea con la finalidad de asignar los valores de las propiedades de interés de forma automática mediante las Data Tables, en la tabla Propiedades Objeto Modelo. Así, en la Tabla 17 se presentan las propiedades intervenidas junto con el nuevo valor asignado, y una descripción del valor.

Tabla 17: Propiedades asignadas del objeto Entrada Orden.

Descripción	Propiedad	Valor asignado
Tipo de producto terminado que ingresa al taller por orden.	Entity Type	Partes.TipoEntidad
Modo de uso por el objeto para generar automáticamente las llegadas de entidades. En este caso, mediante Tabla.	Arrival Mode	Arrival Table
Nombre de la tabla que indica la llegada de las entidades.	Arrival Time Property	TrabajosProgramados. FechaEntradaTaller

Criterio de llegada de las entidades. En este caso, solo crea las órdenes asociadas al tipo de trabajo “Nuevo”.	Entities Per Arrival	List.TipoTrabajo. Nuevo == TrabajosProgramados. TipoTrabajo
---	----------------------	--

Cabe señalar que el TransferNode asociado al objeto Entrada Orden, debe estar asignado “By Sequence” para que la entidad fluya desde un proceso a otro.

En la propiedad Entities Per arrival se debe comparar la referencia del status de las órdenes de trabajo respecto a la lista TipoTrabajo. Esta lista se crea en la ventana Definitions en la opción Listas. Esta, debe ser una lista tipo string que señala dos tipos de trabajos: Nuevo y WIP, tal y como lo muestra la Figura 24.

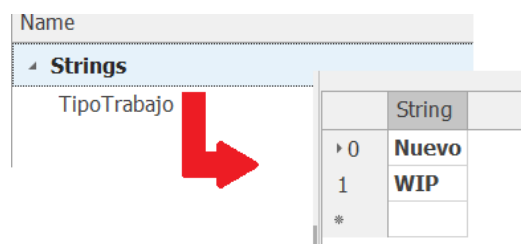


Figura 24: Visualización lista TipoTrabajo, utilizada para comparar el status de las órdenes de trabajo.

4.1.5 Modelamiento objeto Unión

Para poder trabajar con máquinas en paralelo dentro del proceso productivo, se crea el objeto Unión. Se utiliza un objeto TransferNode de la “Standard Library” de SIMIO. El uso de este objeto es para referenciar propiedades con la finalidad de que al momento de ingresar los datos en las *Data Tables*, se cree de manera automática facilitando el uso de la herramienta al moderador o profesor a cargo. Así, cuando se ingrese la información, el objeto Unión utilizará la data asignada desde la tabla Nodos. En el ANEXO 1 se explica el uso de esta tabla. En la Tabla 18 se presentan la descripción de las propiedades intervenidas junto con el nuevo valor que le asigna a cada una de ellas.

Tabla 18: Propiedades asignadas al objeto Unión.

Descripción	Propiedad	Valor Asignado
Método de asignación del destino de la entidad en su próxima secuencia. En este caso, se asigna según una lista.	Entity Destination Type	Select From List
Nombre de la lista de asignación de llegada de entidad. Aquí, se deben señalar todas las máquinas en paralelo que se quieren utilizar. E.g., input@corte1; input@corte2	Node List Name	NodosMaquina.Nodo
Criterio de selección de las máquinas asociadas. En este caso, se selecciona por la menor cantidad de entidades dentro de las máquinas: en cola, más la cantidad en proceso.	Selection Goal	Smallest Value

4.1.6 Jerarquización entre las órdenes de trabajo categorizadas como nuevas y WIP

Al momento de iniciar la simulación, se asume que existen trabajos que se encuentran con su proceso productivo iniciado. A estos trabajos se les denomina WIP. Aquellos pedidos que no han iniciado proceso alguno, se les denomina Nuevos. Para poder modelar esto, es necesario generar una lógica de funcionamiento que gatille la discriminación entre un tipo de producto u otro. Para poder simular esto mediante SIMIO, se presenta la Figura 25. Se inserta un *Search Step*, que busca en la Tabla de datos WIP, todos los trabajos WIP que están asignados para este proceso de simulación. Cuando son encontrados, cada fila es referenciada a un trabajo con su respectiva información presentada en la Tabla 79. Una vez encontrados, se debe representar estos productos con su proceso productivo ya iniciado, para realizar esto se inserta un *Create Step*, que crea la orden de producción respectiva, y como la Tabla WIP está relacionada a la tabla Ordenes Programadas, por consecuencia esta tabla se relaciona con la tabla Partes. Al momento de crear la entidad, también es necesario incorporarle a la entidad la secuencia que posee el pedido. Para esto, se incluye un *Set Row Step* a la tabla de secuencias y posteriormente, utilizando el mismo criterio que se expone en la Tabla

15 para la creación de la variable de estado *EficienciaOperador*, se crea la variable de estado *Fracción restante* y por medio del step *Assign*, se asigna el valor a la variable de estado *ModelEntity.FraccionRestante*. Así mismo, en este step se asigna el costo actual de la orden a la orden gracias a la variable intrínseca del objeto *ModelEntity.Cost*. Así, cada *ModelEntity* se le asigna la fracción restante al trabajo respectivo. Por último, se transfiere la entidad a la máquina que está ejecutando la secuencia productiva con el *Transfer Step*.

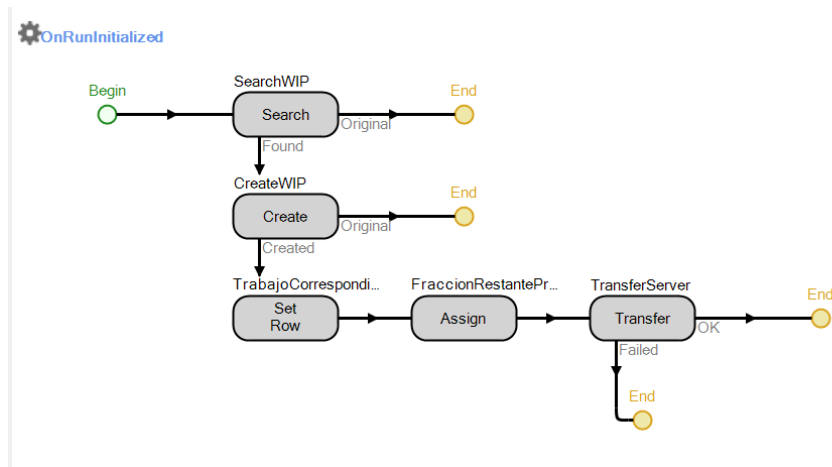


Figura 25: Proceso de búsqueda de trabajos WIP.

4.1.7 Proceso de reaprovisionamiento de materiales

El taller de Producción posee una política de reabastecimiento de materia mediante un punto de pedido. Es decir, cuando la cantidad manejada en planta pasa negativamente el punto crítico de stock (punto de pedido), se genera el evento de reposición de material. Al gatillar este evento, el material es preparado y llevado al taller, teniendo en consideración un lead time de abastecimiento de material. La reposición o la cantidad a pedir de material, es un parámetro ingresado por el usuario. Para poder generar este proceso en SIMIO, se utiliza el elemento *Monitor*. Este permite hacer un seguimiento de la materia prima, de forma constante, que debe ser reaprovisionada en el modelo de simulación, y que al momento de cruzar negativamente el parámetro de punto crítico de stock (punto de reorden o de pedido), se gatilla el evento asociado a *Monitor*. Este elemento es creado automáticamente, una vez ingresados los datos en la tabla Inventario. Este, posee 4 propiedades referenciadas que se presentan en la Tabla 19.

Tabla 19: Propiedades referenciadas para los monitores creados en el proceso de reaprovisionamiento de materiales del modelo.

Descripción	Propiedad	Valor
Variables de estado que permite hacer seguimiento a la cantidad de stock de un material específico	State Variable Name	Inventario[Inventario.NumeroMaterial].NombreMaterial.QuantityInStock
Tipo de Propiedad que permite gatillar el evento de reposición una vez la variable de estado cruza el punto de pedido	Monitor Type	CrossingStateChange
Propiedad complementaria a <i>Monitor Type</i> que determina que la dirección del movimiento de la variable de estado. Si es negativa, indica que se mueve con dirección decreciente	Crossing Direction	Negative
Cantidad de inventario definido como punto de reorden o de pedido	Initial Threshold Value	Inventario[Inventario.NumeroMaterial].PuntoPedido

El monitor, por medio de la variable de estado que está relacionada con la materia prima respectiva, genera un seguimiento constante de la cantidad de stock de ésta. La propiedad *Monitor Type* permite establecer un criterio de punto de pedido del material, y *Negative Crossing Direction* complementa la propiedad *Monitor Type* en gatillar el evento si el stock de material cruza el punto de pedido definido por *Initial Threshold Value*. Es decir, si el consumo del material traspasa el punto de pedido establecido en la Tabla Inventario a un valor inferior a este, se activa el evento Monitor, asociado a la materia prima, tal y como lo muestra la Figura 26.

Monitor Elements (Auto-Created)	
MonitorRawMaterialX	Monitor Element
MonitorRawMaterialY	Monitor Element
MonitorRawMaterialZ	Monitor Element
Properties: MonitorRawMaterialX (Monitor Element)	
Basic Logic	
State Variable Name	Inventario.NombreMaterial.QuantityInStock
Monitor Type	CrossingStateChange
Crossing Direction	Negative
Initial Threshold Value	Inventario.PuntoPedido
Monitored State Variables (More)	0 Rows
Trigger Condition	
Triggered Process Name	

Figura 26: Monitor creado con las propiedades señaladas en Tabla 19.

Una vez gatillado el evento de reposición de inventario, es necesario reabastecer el taller de Producción con una cantidad de stock definida por el usuario. Este reaprovisionamiento de material está asociado a un tiempo de desplazamiento de material y a una cantidad a pedir. Para materializar esto, se crea un proceso en la ventana *Process*. Los procesos en SIMIO, son posibles de gatillar con una interacción de los objetos inteligentes, con otros procesos presentes en el modelo o con Elementos definidos por el usuario. En este caso, el proceso es gatillado por el *Monitor*. Así, se debe asignar el *Triggering Event Name* al monitor respectivo. Se ingresan dos steps: *Delay* y *Produce*. El primero, permite modelar el tiempo de abastecimiento de la materia prima que se quiere reabastecer, en donde el tiempo es ingresado en la Tabla Inventario asociado al material respectivo. El segundo, simula la cantidad (lote de compra) del reabastecimiento del material y contabiliza la llegada de material en la variable de estado de la materia prima reaprovisionada, tal y como lo muestra la Figura 27. Por último, señalar que es obligatorio generar estos procesos por cada materia prima que se maneje en el modelo de simulación. Si se llegase a ingresar una cantidad inicial infinita de material como parámetro en la Tabla Inventario, no es necesario realizar este paso.

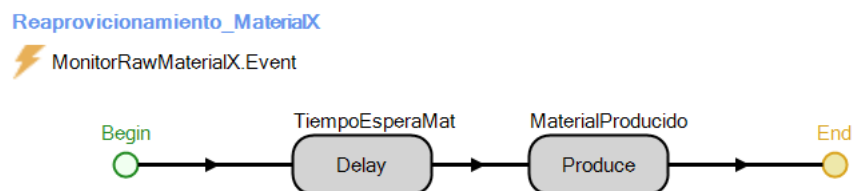


Figura 27: Proceso que permite reabastecer al material X por medio del Monitor MonitorRawMaterialX.

4.1.8 Obtención de datos de las variables output

Con la finalidad de poder analizar los datos entregados por el modelo de simulación, es necesario contar con un proceso que vaya recogiendo las variables de salida u output del proceso. En SIMIO, una de las formas para obtener estas es por medio de procesos. Así, se debe crear un proceso (*Process*) para recoger información de variables de estado output respecto a cada máquina y operador presentes en el modelo de simulación. Estos procesos, se generan en la interfaz del modelo principal de simulación y no en cada objeto en particular.

Cada objeto máquina y operador debe poseer sus propias variables de estado de salida. Es decir, si se introducen cincuenta máquinas se deben incluir cincuenta variables de estado para un aspecto en particular (como el tiempo de proceso). Las Variables de estado, por defecto se definen en sentido escalar. Esto quiere decir, que dentro de una misma variable puede asignarse un solo valor. Sin embargo, dependiendo del modelo a realizar, existe la posibilidad que se requiera escribir la misma variable de estado para distintos objetos. SIMIO tiene la ventaja de definir vectorialmente dicha variable con la cantidad de filas igual a la cantidad requerida. Por lo tanto, antes de ingresar los valores de las tablas, es necesario dirigirse a la opción *Definitions – States* y por cada variable que entregue información, definirla en forma vectorial, donde el número de filas será la cantidad de objetos máquina y operador que existan. Por ejemplo, si se utilizan tres máquinas y un operador, se deben asignar todas las variables de estado de extracción de datos a cuatro filas.

En SIMIO no es posible obtener data relacionando a los objetos Operadores, directamente con las entidades que se están procesando, o en este caso, las órdenes de producción. Para realizar esto, se utiliza el objeto Máquina como puente entre estos dos objetos. Por ende, se crean las siguientes variables de estado presentadas en la Tabla 20 en el objeto *ModelEntity*.

Tabla 20: Variables de estado definidas para el proceso de extracción de datos.

Descripción	Variable de estado	Categoría
Lleva la cantidad de producto terminado requerido en cada orden de trabajo.	CantidadRealizada	Real
Guarda el número de orden relacionado con el trabajo programado.	NumeroOrden	String
Guarda el nombre de la máquina asociada a la orden de trabajo.	NombreMaquina	String
Lleva el número de la secuencia correspondiente a la orden de trabajo.	NumeroSecuencia	String

Para la elaboración del proceso de extracción de datos de cada operador, se ingresa un *Assign* step en el proceso *datos operador* del objeto máquina, con la finalidad de enlazar la información de la orden al operador, tal y como se ve en la Figura 21. En la Tabla 21 se presenta la asignación de los datos para cada orden de trabajo.

Tabla 21:Asignación de variables de estado para el proceso de extracción de datos.

Descripción	Variable estado	Nuevo valor
Variable que entrega el nombre de cada máquina	ModelEntity.NombreMaquina [ObjetosModelo.NumeroMaquina]	Object. Name
Variable que entrega el nombre de cada orden de trabajo.	ModelEntity.NumeroOrden [ObjetosModelo.NumeroMaquina]	TrabajosProgramados. NumeroOrden
Variable que entrega la secuencia de trabajos (programa de producción) asociada a cada máquina	ModelEntity.NumeroSecuencia [ObjetosModelo.NumeroMaquina]	Secuencia. Secuencia
Variable que entrega la cantidad solicitada por la orden de trabajo.	ModelEntity.CantidadRealizada [ObjetosModelo.NumeroMaquina]	TrabajosProgramados. CantidadRequerida

Variable que entrega el número de la máquina donde trabaja el operador	ModelEntity.NumeroMaquina	ObjetosModelo. NumeroMaquina
--	---------------------------	---------------------------------

Cada objeto debe estar asociado a un proceso de extradición de datos. Por esto, que la Figura 28 y Figura 29 muestran el proceso de extracción de datos para el objeto Operador y Máquina respectivamente.

ProcessOperator 1

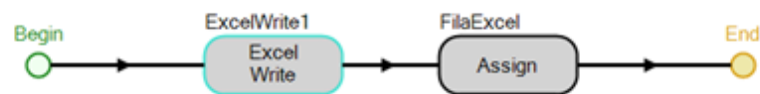


Figura 28:Proceso de extracción de datos para el objeto operador.

ProcessMáquina Corte



Figura 29: Proceso de extracción de datos para el objeto Máquina.

Como ya se mencionó anteriormente, cada objeto máquina y operador utilizado en el modelo de simulación, debe poseer un proceso de extracción de datos. SIMIO permite exportar esta información, mediante planillas Excel. La Figura 28 y Figura 29 muestran un Step llamado *Excel Write*, que permite realizar esto. Se define la variable *FilaExcel*, de carácter vectorial, que facilita la escritura de datos en las hojas Excel asignando una nueva fila por cada evento discreto donde se utiliza un objeto en particular.

La Figura 21, Figura 28 y Figura 29, son procesos asignados a cada objeto respectivo de extracción de información. En la Tabla 22 se presenta la asignación de las propiedades referenciadas respectivas para poder gatillar los eventos de

forma correcta. Estas propiedades referenciadas están ya enlazadas previamente a cada objeto especializado y, por lo tanto, no es necesario definir en el modelo una vez ingresado los datos.

Cabe destacar que cada propiedad referenciada está enlazada con la tabla ObjetosModelo. Así, si es necesario realizar una modificación de un proceso particular solo en un objeto, como el proceso está anidado a la tabla de datos, es posible realizarlo de manera expedita sin tener que modificar cada objeto.

Tabla 22: Procesos referenciados a cada proceso.

Objeto	Propiedad	Nombre proceso
Máquina	Processing	ObjetosModelo.ProcessOperator
Máquina	After processing	ObjetosModelo.ProcessExcel
Operador	Released	ObjetosModelo.ProcessExcel

Si bien es importante aclarar la forma de recaudación de datos, también es importante abordar las propiedades *State assignments* creadas en cada objeto con la finalidad de obtener tiempos de operación, tal como se presenta en las Figura 20 y Figura 23: *Modelación para el proceso (Ocupar – Liberar) de los operadores asignados a cada proceso de operación*. Como es posible apreciar en la primera figura, cada propiedad *State Assignments* se enrola con variables distintas. Para definir todas las variables asignadas de esta forma para el objeto máquina, se presenta la Tabla 23. Cabe destacar que el valor contador Falla define si en el tiempo de proceso particular, existe una falla o no. Toma el valor de 1 si la máquina falla, y, por lo tanto, se escribe el tiempo de falla en Excel. Si se gatilla este evento, contadorFalla toma el valor de 0. En este caso, el tiempo de falla toma un valor 0. Esta lógica de modelación está presente en la extracción de datos de Excel presentados en el ANEXO 3.

Tabla 23: variables de estado asignadas por propiedades State Assignments en Máquina.

Propiedad	Variable	Valor
Before Processing	TiempoInicioProceso	TimeNow

	[ObjetosModelo.NumeroMaquina]	
After Processing	TiempoProceso [ObjetosModelo.NumeroMaquina]	TimeNow
Failed	TiempoInicioFalla [ObjetosModelo.NumeroMaquina]	TimeNow
Failed	ContadorFalla [ObjetosModelo.NumeroMaquina]	1
Repaired	TiempoFinFalla [ObjetosModelo.NumeroMaquina]	TimeNow

De manera similar, en la Tabla 24 se presentan las variables asignadas al objeto Operador. Cabe destacar que el valor contador atraso define si existe llegada tarde al turno o no. Toma el valor de 1 si el operador llega tarde al turno, y por lo tanto se escribe el tiempo de atraso en Excel. Una vez se haya escrito el valor, la variable de estado contadorAtraso retoma el valor 0 para no gatillar nuevamente el evento. Esta lógica de modelación está presente en la extracción de datos de Excel presentado en el ANEXO 3. La variable vectorial TiempoTarde, entrega la cantidad total de minutos tarde de atraso en un inicio de turno, mientras que la propiedad Minutos_tarde, permite ingresar la distribución de probabilidad de tiempo que un operador tardaría al comenzar el turno, si es que llegase tarde.

Tabla 24: variables de estado asignadas por propiedades State Assignments en Operador.

Propiedad	Variable	Valor
Llega tarde	TiempoInicioProceso [ObjetosModelo.NumeroMaquina]	TimeNow
Llega tarde	ContadorAtraso [Operador.NumeroOperador]	1
Tiempo inicio turno tarde	TiempoTarde [Operador.NumeroOperador]	TimeNow-TiempoTarde [Operador.NumeroOperador]
Allocated	TiempoInicioProceso [ObjetosModelo.NumeroMaquina]	TimeNow
Released	TiempoProceso [ObjetosModelo.NumeroMaquina]	TimeNow

Aparte de la recolección de datos por máquina y operador, es necesario obtener los datos de salida por las órdenes de trabajo. Como se presenta en la Tabla 77, por cada trabajo programado, existen columnas *State variables* que permiten ingresar parámetros de salida a medida que los trabajos terminan. Estas columnas, se ingresan en un proceso llamado *ProcessCalidad*, tal y como lo muestra la Figura 30. Existen dos procesos *Assign* que escriben las variables de estado y los valores de estas se presentan en la Tabla 25.

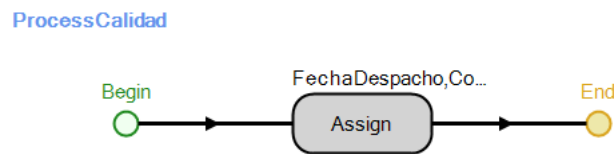


Figura 30: Ingreso de parámetros de salida a tabla Trabajos Programados.

Este proceso de calidad está vinculado al ingreso de la entidad al objeto Despacho como referencia al proceso *Entered Add on Process Triggers*. Además, la variable tasa rechazo material y tasa anchos corte son variables de estado definidas dentro del modelo con características vectoriales, pero esta vez asignadas de esta forma según el número de partes o número distintos de órdenes de trabajo terminados que existen. Es decir, si hay 3 diferentes tipos de trabajos, se debe asignar un vector 3 filas respectivamente.

Tabla 25: Asignación de datos para las variables de estado en el proceso final de calidad.

Variable	Valor
TrabajosProgramados. FechaDespacho	TimeNow
TrabajosProgramados. CostoTotal	ModelEntity.Cost
TasaAnchosCorte[Partes. NumeroEntidad]	Partes.TasaAnchoCorte
TasaRechazoMat[Partes. NumeroEntidad]	Partes.TasaRechazoMaterial
TrabajosProgramados.	TasaAnchosCorte[Partes.NumeroEntidad]*

AnchoObtenido	Partes.AnchoMaterial+Partes.AnchoMaterial
TrabajosProgramados. TasaRechazoMaterial	TasaRechazoMat[Partes.NumeroEntidad]

4.2 Construcción del Modelo de Simulación de laboratorio de evaluación de políticas de inventario

El sistema que se desea representar con la propuesta de Laboratorio de políticas de inventario es un centro de operaciones tipo Almacén que despacha un tipo de producto terminado. En este, existe una distribución de probabilidad continua de frecuencia de demanda, representada por la llegada de los clientes a la tienda. El centro, despacha producto a medida que exista la cantidad de stock solicitada por el cliente, representada por una distribución de probabilidad discreta. El Almacén funciona con un sistema de reabastecimiento de material mediante dos tipos de políticas de inventario: Pedido o periodo fijo. Así, cuando la cantidad en stock es menor a los parámetros ingresados considerando el tipo de política de inventario, se genera la reposición. Dependiendo de la política de inventario y los parámetros ingresados, es cuando se gatilla el evento de reposición. Para esto, se considera un proveedor que posee una distribución de probabilidad continua de tiempo (lead time) hasta llegar a la bodega de la tienda. Sin embargo, es posible quebrar stock mientras la reposición está viajando al Almacén. Si se gatilla este evento, los clientes esperan la llegada de producto en la tienda. En relación con esto, si existen muchas personas esperando el arribo del producto, es posible que estas abandonen la tienda sin satisfacer su demanda. Por último, en la tienda se generan cortes de suministros, como por ejemplo de luz y también, ausentismo por parte del vendedor, como por ejemplo recibir llamados al celular que retrasan la atención a los clientes, ir al baño, o cualquier evento que gatille una demora en el proceso de venta.

Para generar el modelo de simulación en SIMIO, se propone un laboratorio modular a partir de los dos tipos de políticas de inventario que se mencionan anteriormente: pedido y periodo fijo. Para realizar esto, la frecuencia de demanda se materializa mediante la llegada de los clientes a la tienda y la cantidad a

demandar, se relaciona al cliente mediante una variable discreta asociada a la entidad. Por otra parte, el reaprovisionamiento, se gatilla mediante procesos dependiendo del tipo de política seleccionada. Una vez activado el evento, el proveedor procede a despachar el producto y reabastece el almacén una vez llega la entidad camión. Mientras la reposición está en tránsito y si el almacén rompe stock, se crea un objeto llamado Espera que tiene como finalidad alojar a las entidades clientes esperando producto. Sin embargo, y gracias al elemento *Function*, es posible que los clientes abandonen la fila de espera sin satisfacer su demanda. Por último, para modelar los eventos de demora en la atención de los clientes, se utilizan dos objetos personalizados: Mesa de atención y Vendedor, que son alteraciones de los objetos Combiner y Resource respectivamente.

4.2.1 Detenciones no programadas

Con la finalidad de modelar las detenciones de tiempo en la atención al cliente, se debe modificar los procesos internos de los objetos Mesa de atención y Vendedor. Por defecto, SIMIO posee procesos de falla incorporados en su interfaz. Sin embargo, este proceso no se asimila a una lógica de MTBF. Para modificar esto, en el proceso interno *FailureOccurrenceLogic* de cada objeto, se desplaza el step *Fire* hasta antes del step *Delay*, tal y como lo muestra la Figura 31. Este step permite gatillar llevar a cero el tiempo medio entre fallas y posteriormente, gatillar la variable MTTR.

Además, para ingresar los parámetros de MTBF y MTTR por cada objeto, en las propiedades de cada uno se debe seleccionar *Reliability logic – Failure Type: Calendar Time Based* e ingresar cada variable.

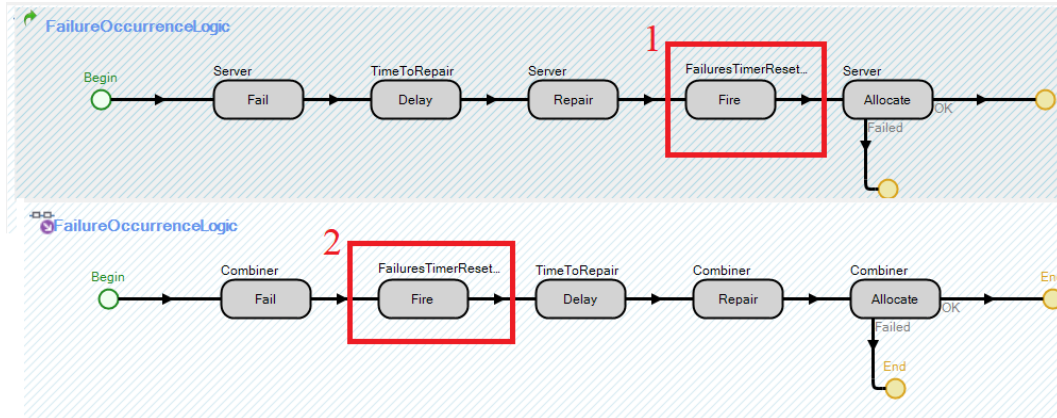


Figura 31: Modificación proceso lógico de falla objetos Mesa y Operador.

4.2.2 Creación objeto Fila espera

En SIMIO es posible crear objetos propios si no existe algún objeto que no permita modelar el comportamiento requerido. Con la finalidad de crear un objeto que permita alojar a los clientes a la espera de llegada de stock para satisfacer su demanda, se crea el objeto Fila. En la Figura 32 es posible ver una representación visual de este objeto.

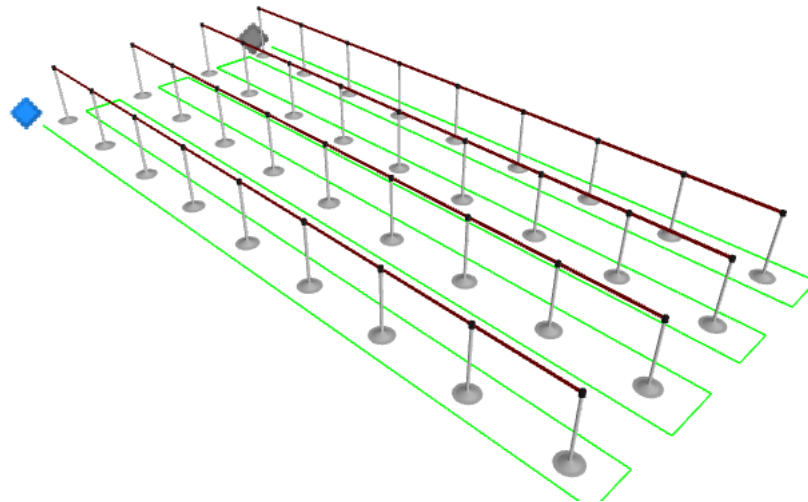


Figura 32: Representación del objeto Fila espera.

El objeto en cuestión tiene como único objetivo alojar a las entidades *Costumer* que llegan a la tienda y mantenerlos en espera una vez esta quede sin Stock. Para esto, se debe incorporar un elemento llamado *Station*. El sistema no considera una restricción de la cantidad máxima de clientes que pueden estar

esperando el arribo de stock. Por ende, al elemento *Station* se le da el valor inicial de capacidad *InitialCapacity* el valor *Inifinity*. Cada elemento *Station* posee propiedades características a este objeto, que define: capacidad, como se ordenarán las entidades dentro de este, el orden de como saldrán las entidades. Estas propiedades son intrínsecas a todos los objetos creados y se le deben asignar valores referenciados para que el usuario sea capaz de ingresar valores si es necesario. Estas propiedades referenciadas se presentan en la Tabla 26. También, se le ingresan dos nodos: *BasicNode* y *TransferNode*. El primero permite transferir a la entidad que llega al objeto dentro de la estación y el último permite conectar el objeto con el resto del modelo.

Tabla 26: Propiedades referenciadas objeto Fila espera.

Descripción	Propiedad estación	Valor propiedad referenciada
Capacidad máxima de clientes dentro de la fila de espera posibles de alojar dentro del objeto.	InitialCapacity	Initial Capacity
Permite discriminar la forma en la cuál se atenderán a los clientes dentro de la fila. Por ejemplo, por FIFO; LIFO; Máximo o mínimo valor de selección.	Entry Ranking Rule	Ranking Rule
Propiedad que permite evaluar de manera dinámica el cómo se atienden los clientes. Esta propiedad se utiliza cuando en Raking rule, se selecciona Máximo o mínimo valor. Por ejemplo, es posible priorizar a los clientes que poseen una cantidad mínima de demanda de producto (esto se debe incorporar como expresión matemática dentro de la simulación).	Entry Ranking Expression	Ranking Expression

Fila de Espera posee un único proceso que permite generar la lógica de ingreso y, posteriormente, transferir al cliente al *TransferNode*. Este proceso se presenta en la Figura 33.

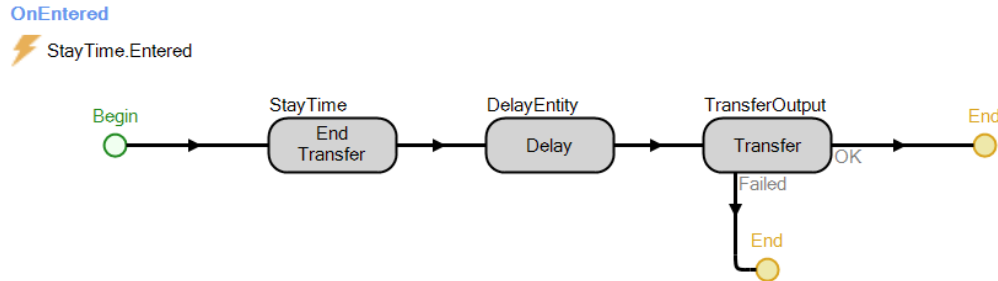


Figura 33: Único proceso objeto Fila Espera.

4.2.3 Objeto Mesa de atención

Para materializar la obtención de producto por parte del cliente, se utiliza el objeto Mesa de atención. Este es un objeto especializado creado a partir de un *Combiner*, proporcionado por la “*Standard library*” de SIMIO. Tal como se menciona, el uso de este objeto es para permitir “combinar” dos tipos de entidades, en este caso: *Product* con *Consumer*. Así, de formar visual, es posible entender cómo el cliente se satisface con la cantidad de producto solicitado.

Para facilitar el uso del objeto al profesor o usuario a cargo, la utilización del objeto especializado se fundamenta simplemente en asignar valores a las propiedades referenciadas tal como se presenta en la Tabla 27. Además, una ventaja importante del uso de este objeto es que por cada *Parent Member*, es decir, la entidad primaria de llegada al objeto, en este caso, *Costumer*, se le asigna la cantidad demandada por cada cliente en la propiedad *Batch Quantity* y se relaciona con la cantidad de producto requerida *Match Members*, u objeto hijo.

Tabla 27: Valores asignados a las propiedades referenciadas para el objeto Combiner.

Descripción	Propiedad	Valor asignado
Cantidad de producto requerida por cada cliente.	Batch Quantity	ModelEntity.Orden

Propiedad que permite enrolar a cliente y producto.	Match Rule	Match Members
Define el producto a vender por cada cliente que llega.	Member Math Expression	Product
Tiempo que se demora en procesar una venta o tiempo de preparación de producto.	Processing Time	OfficeProcessTime
Cantidad máxima de Cliente posibles de atender a la vez.	Parent Input Buffer Capacity	1
Persona necesaria para atender en el centro de ventas.	Resource For Processing – Object Name	Operador
Propiedad que gatilla el proceso de satisfacción y reaprovisionamiento de los productos.	After Processing	Oficina_AfterProcessing

4.2.4 Objeto Operador

Para modelar al vendedor del almacén, se utiliza el objeto especializado *Resource*, proporcionado por la “*Standard library*” de SIMIO. Dado que esta persona no es necesario que se traslade de un punto a otro, se utiliza este objeto en vez del objeto *Worker*. Sin embargo, gracias a la animación del objeto es posible observar de forma visual, gracias a un cambio en el color de este, si no está dentro del tiempo de programación, si falla, si está procesando, entre otros.

4.2.5 Creación de los Procesos del Modelo

En la Tabla 28 se presentan las propiedades del modelo en conjunto con la descripción de cada una de estas.

Tabla 28: Propiedades modelo de políticas de inventario.

Descripción	Propiedad	Categoría
Inventario inicial del producto	Initial Inventory	Inventario
Tipo de política de inventario	Replenishment Policy	Inventario
Frecuencia de llegada cliente	Costumer IAT	Cliente
Cantidad demanda cliente	Demanda	Cliente
Punto de reorden para una política de cantidad de pedido fijo	Reorder Point	Inventario
Cantidad de pedido para una política de cantidad de pedido fijo	Order Qty	Inventario
Cantidad máxima para pedir para una política de periodo fijo	Order Up To	Inventario
Tiempo de revisión de inventario para una política de periodo fijo	Periodo Revisión	Inventario
Tiempo que demora en llegar orden a inventario de destino	Lead Time Supplier	Proveedor
Costo asociado a emitir 1 orden de compra	Costo por ordenar	Costos
Costo unitario anual de mantener inventario	Costo por mantener	Costos
Costo por 1 unidad de inventario	Costo material	Costos
Costo por no poder abastecer 1 producto	Costo faltante	Costos
Tiempo de proceso de atención en la mesa	Office process time	Resource process
Tiempo de preparación de pedido de venta	Member TransferIn time	Resource process

Definidas las propiedades del sistema, se definen las variables de estado y se presentan en Tabla 29.

Tabla 29: Variables de estado del laboratorio de políticas de inventario.

Descripción	Variable de estado
Cantidad de productos en bodega	Handle Inventory
Cantidad de productos demandados	Handle Demand
Cantidad de productos solicitados para reabastecimiento	Handle Order
Contador que permite emitir 1 orden de reabastecimiento	Contador Replenishment process
Cantidad de productos en inventario más cantidad de productos solicitados en reabastecimiento	Inventory position
Cantidad total de productos pedidos	Q Pedidos
Cantidad total de órdenes emitidas	Q Ordenes emitidas
Cantidad de órdenes no satisfechas	Q Ordenes no satisfechas
Cantidad de órdenes satisfechas	Q Ordenes satisfechas
Valor iterativo para escritura de datos en Excel	Fila_Excel
Tiempo entre cada solicitud de demanda	Tiempo Entre Ordenes

Luego de definir las propiedades y variables de estado del proceso, se realizan los procesos de consumo, reabastecimiento, inicio de la simulación y un evento *Timer* asociado a la política de cantidad de periodo fijo.

Para poder administrar la cantidad de demanda, se debe plantear un proceso de satisfacción de ésta. En la Figura 34 se presenta parte del proceso de satisfacción de la demanda. En este, cada vez que se termina de procesar una orden, se evalúa y asignan las variables de estado relacionadas con la cantidad de inventario en stock junto con la demanda entrante. Además, se evalúa si se cumple con la demanda dándole un nuevo valor a la cantidad de satisfacción de la demanda.

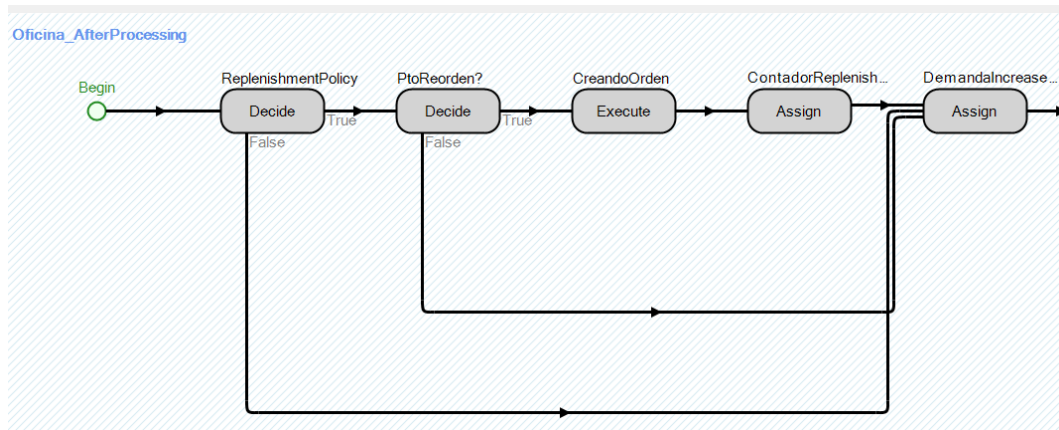


Figura 34: Parte del proceso de satisfacción de la demanda del objeto Mesa.

Si el tipo de política de inventario es de cantidad fija, y la cantidad de stock disponible es menor al punto de reorden, se gatilla el evento de reabastecimiento del stock. Para canalizarlo a través del modelo, se ingresan dos *Decide* steps. El primer step permite discriminar por el tipo de política de inventario utilizada en el modelo, y en el segundo step, permite evaluar si la cantidad de stock en inventario es menor al punto de reorden, tal como se observa en la Figura 34. Sin embargo, es necesario generar una restricción en el proceso ya que es posible gatillar el evento siempre que se presenten las dos condiciones anteriormente mencionadas. Para esto, se crea la variable de estado *ContadorReplenishmentProcess*. Esta variable de estado por defecto posee el valor de 0. Una vez gatillado el evento de reabastecimiento del stock, se le asigna el valor de 1. Por otra parte, en el segundo step *Decide*, se agrega la condición de que si *ContadorReplenishmentProcess* es 0, se gatille el evento de reaprovisionamiento. Si esto no se cumple, no se presenta éste. Esto permite no gatillar el proceso de reabastecimiento nuevamente.

Por otra parte, [17] plantea que una política de inventario de periodo fijo se activa con una frecuencia de tiempo t y no posee un punto de reorden, sino que una cantidad máxima de definida para almacenar. Por ende, para modelar esta condición, se define un elemento *Timer* llamado *PeriodoRevision*. Este *Timer* está referenciado en la propiedad *Periodo de Revisión* y, por lo tanto, se activa cada vez se cumple el tiempo t especificado. Inmediatamente después, se activa el proceso *PeriodoRevision.Timer*, tal y como se aprecia en la Figura 35. En este proceso, si

la política de inventario es de periodo fijo, se ejecuta el proceso de reaprovisionamiento. Cabe señalar que existe un valor por default *infinity* asociado a la propiedad referenciada *Periodo de revisión*. Esto, ya que el elemento *Timer* actúa de forma independiente a la selección de una u otra política de inventario. Por ende, para no gatillar este, se le otorga este valor por default. Este valor puede ser cambiado una vez se selecciona la política apropiada.

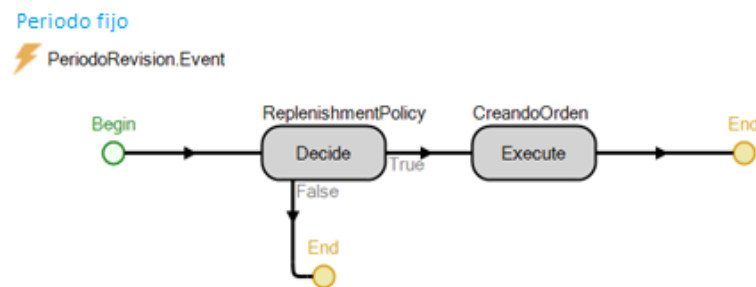


Figura 35: Proceso asociado a política de inventario de periodo fijo.

Para reabastecer el inventario, se debe solicitar un lote de compra de producto de acuerdo con la política de inventario elegida. Por ejemplo, se elige una política de inventario de periodo fijo, se debe ejecutar una compra por la diferencia entre cantidad máxima definida para almacenar y la cantidad actual de stock. Para modelar esto se presenta la Figura 36. El proceso inicia evaluando el tipo de política de inventario a analizar. Luego, se le asigna un valor a *HandleOrder* que obedece a la cantidad ordenada de producto. Esta puede tomar dos valores: *OrderQty* o *OrderUpto-HandleInventory*. El primero, corresponde a la cantidad a pedir (lote de compra) si la política obedece a una de cantidad fija; y la segunda, a la de periodo fijo. Además, la cantidad a ordenar para la política de periodo fijo debe ser variable y dependiente de la cantidad de inventario en mano que se posee en ese instante de tiempo, con una cota máxima referenciada en la propiedad *OrderUpTo*, que presenta la cantidad máxima definida para almacenar.

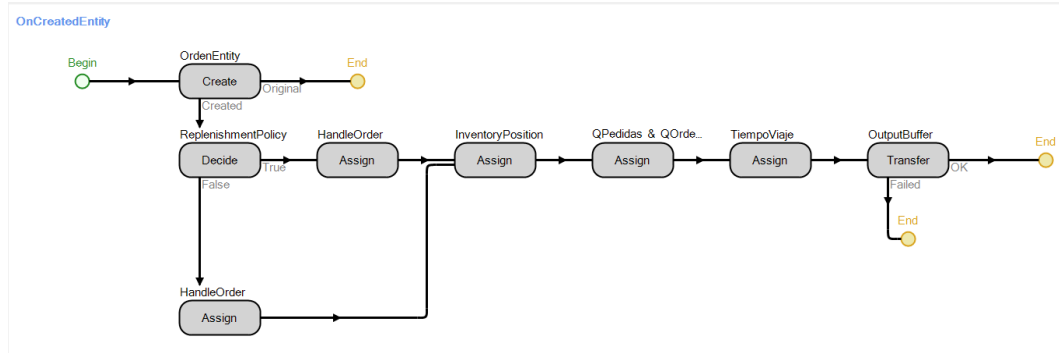


Figura 36: Proceso de emisión de la orden de reaprovisionamiento.

En este proceso, dependiendo de los parámetros ingresados al iniciar el modelo, se asignan los valores de las variables de estado según la política de inventario a simular: *posición de inventario*, *cantidad ordenada*, *cantidad de órdenes emitidas* y el *TiempoParaAbastecer*. Cuando todas estas variables poseen un valor asignado, desde el proveedor se emite la orden de compra y se procede a generar la orden de despacho desde proveedor del lote de compra. Para representar esto en el modelo, se transfiere la entidad Orden de Compra (lote de compra) al *OutputBuffer* del objeto *Proveedor*.

Una vez que la orden de compra (entidad Orden de compra) viaja desde el *Proveedor* hasta el *BasicNode* que simboliza la llegada de inventario a la oficina de ventas, se crea la entidad *Producto*, tal y como se observa en la Figura 37. Esta entidad simboliza cada producto que llega a inventario de manera unitaria. Por ejemplo, si llegasen 1.000 unidades en un lote de compra, se crean mil entidades *Producto*. Se debe simbolizar la llegada del lote de compra a la tienda, como a su vez registrar el ingreso del material en la bodega. Por otra parte, una vez ingresadas al sistema las cantidades recibidas por el lote de compra, se actualizan las variables de estado asociadas al inventario: *HandleOrder* y *HandleInventory*. Además, la variable de estado *ContadorReplenishmentProcess* vuelve a tener el valor 0 para poder iniciar otro proceso de reabastecimiento si así lo requiriese.

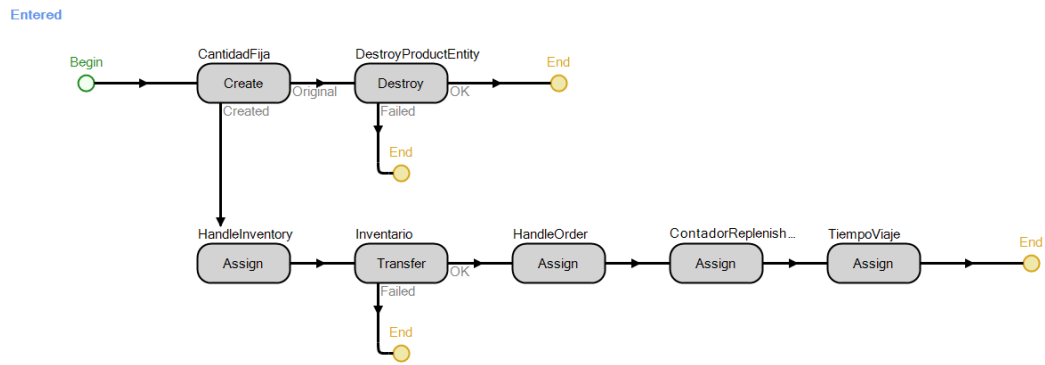


Figura 37: Proceso de creación Entidad Producto.

Por último, al iniciar la simulación, se deben asignar los parámetros de entrada de inventario según la política de inventario elegida para analizar. Así, se presenta el proceso *OnRunInitialized* en la Figura 38. En este se le asigna el valor del inventario inicial a la variable *HandleInventory* e *InventoryPosition*. Además, se crea la entidad *Producto* y se transfiere al *MemberInputBuffer* del objeto *Oficina*.

Es necesario mencionar que existe una variable de estado llamada *ModelEntity.QOrden* y esta permite asignar a cada cliente que entra a la oficina de ventas, el valor de la demanda que se requiere consumir. Este valor está referenciado a la propiedad *Demanda*.

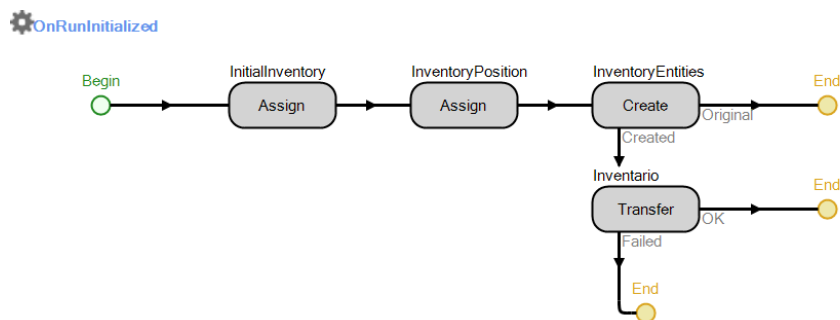


Figura 38: Proceso de asignación de inventario inicial y creación de la entidad Producto.

Por otra parte, al momento de que no queden productos en inventario para satisfacer la demanda entrante, existen dos posibilidades para llevar un control de

esta. Lo más simple, es anotar cada vez que llega un cliente con demanda asociada, registrar que no se cumplió con la demanda solicitada. Aunque esto no pasa en todas las situaciones, existen casos en donde los clientes pueden esperar a la llegada del producto en algún punto en particular. Para modelar esto, se utiliza el objeto fila, y permite aglomerar a los clientes en espera por la llegada del stock. Sin embargo, dada una cierta cantidad de clientes, algunos pueden tomar la decisión de abandonar la fila.

Para poder modelar este tipo de comportamiento se utilizan dos herramientas de SIMIO: *Tables Lookup* y *functions*. Una tabla *Lookup* es utilizada cuando una variable de estado es dependiente de otra. Así, se crea la tabla *CantidadPersonasCola* ubicada en *Data – Lookup Tables*. Esta tabla permite asociar un rango de cantidad de personas a la probabilidad de que dicha persona abandone la fila. Por ejemplo, si existen entre 5 y 10 personas en la fila de espera, existe un 2% de probabilidad de abandonar ésta y así no poder satisfacer dicha demanda. A su vez, se crea la función *BalkingPercent* que referencia la tabla *CantidadPersonasCola* y se le asigna como valor la cantidad de personas que están presentes en la estación esperando ser atendidas y evalúa dinámicamente la variable de estado asignada para asignar un valor de salida. Una vez realizado esto, los caminos habilitados para que los clientes se dirijan hacia la caja de ventas o hacia la salida de la tienda, se le asigna la función $1 - \text{BalkingPercent}$ o *BalkingPercent* respectivamente.

Por último, un supuesto del modelo es asignar stock por llegada de cliente bajo el concepto First In First Out (FIFO). Por lo tanto, si es que en stock existe una cantidad menor que la cantidad solicitada por el primer cliente en la fila de espera, pero una cantidad mayor que la cantidad solicitada por un cliente más atrás, no se atenderá a dicho cliente hasta que el primer cliente haya abonado la sala de ventas satisfaciendo su demanda o por haber esperado mucho provocando un impacto negativo en la cantidad de demanda satisfecha. Por ende, la prioridad de atención es por llegada al almacén.

5. DESARROLLO DE ESCENARIOS Y EXPERIMENTACIÓN

Este capítulo presenta una variedad de preguntas de reflexión relacionados a los conceptos e indicadores de gestión de producción y operaciones que son posibles plantear con las propuestas de laboratorio presentadas. Además, se muestran a modo de ejemplo, 2 preguntas de reflexión asociadas a los laboratorios de Producción y Políticas de Inventario con la finalidad de demostrar el potencial de la herramienta de simulación, y así, extrapolar los laboratorios a distintos objetivos de aprendizaje que se pretendan lograr. Por cada pregunta de reflexión se presentan los supuestos y lógica de funcionamiento, alcance y variables a considerar para el desarrollo de cada ejemplo.

A continuación, se presentan las 2 preguntas de reflexión que se aplican al escenario propuesto de Políticas de Inventario:

- 1) Para los parámetros presentados en el escenario de inventario, ¿Qué política es la más apropiada?

Por otra parte, se presenta la pregunta de reflexión aplicada al escenario propuesto de taller de Producción:

- 1) Evalúe el cumplimiento de orden del taller de Producción. Realice un análisis del sistema de producción. ¿Es posible aumentar dicho cumplimiento de orden? Entregue al menos una alternativa.

5.1 Preguntas de reflexión que son posibles de plantear para evaluar competencias

Esta sección presenta, la cantidad de preguntas de reflexión que son posibles de plantear con el diseño y construcción de los modelos de simulación.

Los capítulos anteriores han abordado las siguientes temáticas: Complejidad; Reflexión; Autonomía; Fidelidad; Re – alimentación; y, Debriefing. Estos conceptos son fundamentales para llevar a cabo una correcta ejecución y éstos deben estar acompañando constantemente la estructuración del curso de Gestión de Producción y Operaciones. Por lo tanto, los laboratorios de simulación deben poseer una sinergia con estos conceptos y las preguntas de reflexión que se planteen deben estar alineados según estos objetivos.

Por último, a medida que el curso de “Gestión de Producción y Operaciones” – en el marco de los Modelos de laboratorio – se complejicen, es necesario ir modificando la orgánica de funcionamiento de la actividad.

5.1.1 Preguntas de reflexión presentadas para los Laboratorios de Producción

Es necesario recordar que estas preguntas de reflexión atienden a distintas temáticas que se abordan durante el transcurso de la asignatura de “Gestión de Producción y Operaciones”. Dentro de la orgánica interna del laboratorio, es posible plantear distintos escenarios para resolver los indicadores adecuados dependiendo de los ejes temáticos que se estén desarrollando.

A continuación, se nombran algunas preguntas de reflexión que son posibles de contestar mediante esta herramienta de aprendizaje. Recordar que éstas se presentan a modo de ejemplo y es posible sumar más preguntas a analizar.

- Estudiar la productividad parcial de una máquina específica
- Calcular la productividad total del sistema estudiado
- Analizar la disponibilidad de máquina y sistema
- Determinar indicador de rendimiento de máquina y sistema
- Calcular el indicador de calidad del sistema
- Calcular el indicador OEE para el sistema
- Calcular la utilización para cada operador y máquina
- Determinar cuellos de botella del sistema

- Estudiar la eficiencia de máquina y eficiencia del sistema
- Estudiar los tiempos de proceso por cada producto terminado
- Distribución de trabajos para disminuir costos de órdenes de trabajo
- Analizar programación a corto plazo para las órdenes de producción
- Determinación de niveles DIFOT o OTIF según programa

5.1.2 Preguntas de reflexión presentadas para los Laboratorios de Políticas de Inventario

El Laboratorio de Políticas de Inventario busca resolver dos propuestas de políticas vistas en clase: Política de Inventario asociada a la Cantidad de Pedido Fijo y Política de Inventario asociada a la Cantidad de Periodo Fijo. Si bien este laboratorio es menos complejo en términos de la construcción del Modelo respecto a la propuesta de Laboratorio de Manufactura, busca resolver de la misma manera problemas asociados al control y manejo de Inventario.

A continuación, se nombran algunas preguntas de reflexión que son posibles de contestar mediante esta herramienta de aprendizaje. Cabe mencionar que éstas se presentan a modo de ejemplo y es posible sumar más preguntas a analizar.

- Qué tipo de política de inventario es más adecuada para los parámetros propuestos
- Cantidad económica de pedido
- Cantidad de demanda máxima posible de responder con la Política de Inventario estudiada
- Análisis de costos asociados a las Políticas de Inventario
- Optimización de cantidad de órdenes pedidas

5.2 Experimentación escenario de políticas de inventario

5.2.1 Determinación de variables y parámetros de entrada para la propuesta de laboratorio de políticas de inventario

Para el laboratorio de políticas de inventario, los parámetros que se consideran son los siguientes:

- Distribución de la cantidad demandada de producto en horas.
- Distribución de tiempo de llegada del cliente en horas.
- Tipo de política de inventario.
- Cantidad inicial de cada materia prima, punto de pedido y cantidad a ordenar.
- Tiempo de proceso de la oficina.
- Tiempo de transporte del producto hasta el centro de ventas.
- MTBF y MTTR de operador.
- MTTR y MTBF de objeto de procesamiento.
- Costos asociados al movimiento de los productos.

5.2.2 Lógica de funcionamiento de escenarios de propuesta de laboratorio de evaluación de Políticas de Inventario

Se propone un escenario concreto para demostrar la potencialidad de la propuesta de Laboratorio de Políticas de Inventario. Para ello, y tomando como referencia la Sección 3.3.1, se quiere distribuir un tipo de producto en un centro logístico tipo almacén. Este, lo atiende una persona y a medida que llegan clientes con demanda, dependiendo de la cantidad de existencias presentes, se produce la venta. Si no hay stock disponible, los clientes esperan por el arribo de este. Sin embargo, dependiendo de la cantidad de personas, es posible que abandonen la espera y no se concrete la venta. Por último, para el reabastecimiento del producto, este obedece al tipo de política que se adopte: de Pedido o Periodo fijo.

Supuestos y simplificaciones generales para el escenario propuesto

- a) El tiempo de simulación presentado para el escenario planteado de laboratorio de políticas de inventario es de un año con horario continuado.

En la Figura 39 se presenta la estructura lógica del escenario de Propuestas de Inventario. Cabe destacar que, dentro del escenario planteado, es posible que quiebren stock. Es decir, que no haya suficientes productos para satisfacer la demanda del cliente. Si es que este evento sucede, los clientes deben esperar por el arribo de producto desde proveedor. En la metodología de simulación, este fenómeno se denomina *Balking*. Para registrar esa situación, existen dos métodos: que el cliente pase a través de la caja sin registrar la compra y, por lo tanto, es afectado DIFOT (Delivery In Full On Time) o OTIF (On Time In Full), o que los clientes esperen en un sector especial definido a la llegada de producto desde reabastecimiento. Sin embargo, si se genera mucha espera, el cliente puede abandonar la tienda aumentando así, la cantidad de demanda insatisfecha. Esto se refleja en el eslabón de decisión en el diagrama de flujos.

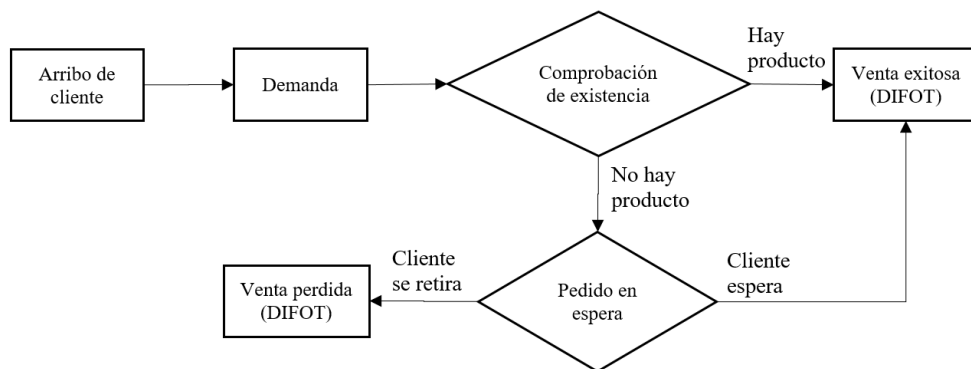


Figura 39: Distribución lógica del funcionamiento del escenario de políticas de inventario.

Además de lo anterior, es posible asignar tiempos de cierre de la tienda mediante programación de los objetos. Todo lo mencionado anteriormente, permite evaluar distintos comportamientos de la curva de cantidad de producto respecto al tiempo aplicando los dos tipos de política de inventario presentes en el modelo. La

finalidad de esto es poder responder las preguntas: ¿Cuánto pedir para reabastecer el inventario? y ¿Cuándo pedir para reabastecer el inventario?

Por último, se debe representar la indisponibilidad de Mano de Obra, es decir, ausentismo como a su vez falta de medios, como por ejemplo los sistemas de información, pérdida de electricidad que imposibilita el uso de computador, entre otros.

5.2.3 Definición de las distribuciones de probabilidad para las variables y parámetros de entrada y de proceso

Los parámetros y variables presentados para el escenario propuesto del laboratorio de Políticas de Inventario se determinan a partir de las recomendaciones de [2] donde proponen distribuciones de probabilidad características para distintos procesos, por ejemplo, distribución de probabilidad triangular o normal para los tiempos de proceso. Cabe destacar que la magnitud de los parámetros, se determinan de forma arbitraria.

En la Tabla 30 se presenta la distribución de probabilidad para el tiempo de procesamiento de pedido con parámetros determinados de forma arbitraria y distribución de probabilidad recomendada por [2].

Tabla 30:Tiempo de procesamiento de la orden en minutos para el laboratorio de inventario.

Distribución	Expresión (minutos)
Triangular	TRIA(5.16; 8.31; 9.87)

Parámetros para los inventarios de materias prima y producto terminado para los elementos presentes en escenario de laboratorio de Políticas de inventario

En la Tabla 31 se plantean los parámetros de la cantidad de inventario inicial, punto de pedido y cantidad de re-orden que posee el producto para una política de pedido fijo y cantidad a ordenar en un modelo de periodo fijo con la frecuencia de tiempo

de pedido para una política de periodo fijo. Estos parámetros se asignan de forma arbitraria.

Tabla 31: Propuesta de cantidad de manejo de materias primas para el escenario propuesto del laboratorio de políticas de inventario.

	Política de cantidad fija			Política de periodo fijo	
Material	Inventario inicial	Punto pedido	Cantidad de reorden	Cantidad máxima a pedir	Tiempo de chequeo [Días]
Producto	200	100	500	500	5

Parámetros para los inventarios de materias prima y producto terminado para los elementos presentes en escenario de laboratorio de Políticas de Inventario

La Tabla 32 presenta la distribución de frecuencia de tiempos en horas, de demanda en minutos y cantidad a pedir por cada cliente que entra a la oficina de ventas. Los parámetros son determinados de forma arbitraria y las distribuciones de probabilidad son recomendadas por [2].

Tabla 32: Distribución de la frecuencia de demanda en horas para el escenario propuesto de políticas de inventario.

Definición	Distribución	Expresión
Distribución frecuencia pedido cliente	Exponencial	$1 + \text{EXP}(2.32)$
Distribución cantidad demandada	Poisson	$\text{POIS}(6.57)$

Parámetros de distribución de probabilidad de tiempos de transporte de material para los elementos presentes en el escenario de laboratorio de Políticas de Inventario

La distribución de tiempo en días de traslado para el producto desde el proveedor a bodega de ventas considerado en el laboratorio de políticas de inventario se presenta la Tabla 33. Se toma la distribución de probabilidad para el tiempo de transporte de material recomendado por [2] y parámetros determinados de forma arbitraria.

Tabla 33: Distribución de tiempos en días de transporte para el producto desde proveedor a bodega oficina de ventas en propuesta de laboratorio de políticas de inventario.

Distribución	Expresión
Normal	NORM(2.48; 0.713)

Parámetros de costos por mantenimiento, compra de material, faltante y emisión de orden para el escenario de laboratorio de Políticas de Inventario

En la Tabla 34 se presentan los parámetros de costos asociados al laboratorio de propuestas de políticas de inventario. Los costos se determinan de forma arbitraria.

Tabla 34: Parámetros para los costos en CLP asociados al inventario en la propuesta de política de inventario.

Tipo de costo	Costo [CLP]
Generar orden(S)	5500
Mantenimiento (H)	2000
Material	100
Faltante	700
Precio de venta de producto	1000

Probabilidad de abandonar la espera de satisfacción de demanda en laboratorio de políticas de inventario

En la Tabla 35 se presenta la probabilidad Y de abandonar la fila de espera de satisfacción de demanda dependiente de la cantidad X de personas en espera de ser atendidas, independiente de la política de inventario aplicada. En la columna X, se presenta la cantidad de personas de ser atendidas. Entre 0 y 5 personas sin incluir la quinta, es decir entre 0 y 4, existe una probabilidad 0 de abandonar la fila. Entre 15 y 19 personas existe una probabilidad de un 0.2 de abandonar la espera de producto.

Tabla 35: Tabla de distribución de probabilidad Y de abandono de fila dependiente de una cantidad X de personas.

X	Y
0	0
5	2
10	10
15	20
20	28
30	43
50	60
60	100

Detenciones no programadas

Mediante el mismo procedimiento que se utiliza para determinar la distribución de tiempos de falla y reparación en horas para el laboratorio de políticas de inventario, se presentan en la Tabla 36.

Tabla 36: Distribución del tiempo de buen funcionamiento (MTBF) en horas del operador y el objeto de procesamiento para el laboratorio de políticas de inventario.

Recurso	Distribución MTBF	Expresión MTBF (hr)	Distribución MTTR	Expresión MTTR (min)
Operador	Weibull	126+WEIB(278, 3.15)	Normal	NORM(40, 15)
Objeto de procesamiento de venta	Weibull	180+WEIB(290, 4.0)	Normal	NORM(15, 3.6)

5.2.4 Experimentación de la pregunta de reflexión planteada aplicada laboratorio de políticas de inventario

Para poder analizar cuál es la política de inventario más apropiada para los parámetros presentados, se utiliza un análisis de costo global para gestionar el inventario. Así, se consideran los siguientes factores de decisión para poder responder la pregunta de reflexión:

- Costo global de inventario.
- Venta total de producto.
- Stock Faltante (Costo de material faltante).
- Indicador DIFOT.

La simulación del modelo, aunque obedezca a distribuciones de probabilidad y variables aleatorias, exhibe escenario posible. SIMIO posee una herramienta de experimentación, la cual permite ejecutar un número determinado de repeticiones con la finalidad de obtener un resultado más confiable. Gracias a esto, es posible obtener N cantidad de resultados a N cantidad de repeticiones. Así, si se genera una repetición, se obtendrá un valor. Si se generan dos repeticiones, se obtendrán dos resultados para la misma variable de estado y así. Es posible aplicar un diagrama de cajas a los resultados de la simulación, obteniendo un diagrama con resultados más variables a medida que se realizan menos repeticiones, tal como se muestra en la Figura 40. Por ende, y a medida que se generen mayor número de repeticiones, se conocerá de mejor manera el comportamiento de la variable de estado. Es por esto, que [4] recomienda como mínimo 10 repeticiones. Para efectos de la simulación de este escenario, se utilizan 10 repeticiones para cada desarrollo de política de inventario. En la Figura 40 es posible observar de color ocre, la variabilidad de la variable de estado, en punto del centro, representa el valor medio, el extremo superior e inferior, los valores máximos y mínimos de la variable de estado.

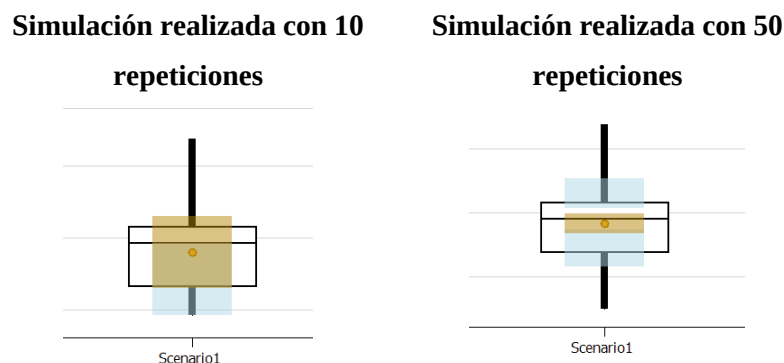


Figura 40: Tipo de resultados de variabilidad de una variable de estado a medida que varían las repeticiones en un modelo de simulación.

5.2.5 Escenario de política de pedido fijo para los parámetros presentados

Como se menciona anteriormente, se generan 10 repeticiones para el escenario de política de inventario de pedido fijo. Por cada repetición, se genera una planilla Excel con los resultados asociados a la simulación del modelo.

En la Tabla 37 se presenta la cantidad de órdenes que fueron satisfechas como las no satisfechas en el periodo de simulación, aplicando una política de inventario de pedido fijo; como también, la cantidad de producto despachado y no despachado. La columna cantidad de órdenes satisfechas es la cantidad de veces que se atiende a un cliente, y se le entrega la cantidad requerida de producto en los tiempos correctos. Por el contrario, cantidad de órdenes no satisfechas es la porción de órdenes que no fueron satisfechas cuando fueron requeridas en cantidad ni tiempo. Por otra parte, la columna cantidad de producto despachado es la cantidad de producto que fue vendido en la tienda; y la cantidad de producto no despachado es aquella porción de producto que se pierde la venta porque no había stock suficiente al momento de requerir el pedido.

Tabla 37: Resultados para las repeticiones del escenario de simulación de política de inventario de pedido fijo respecto a la cantidad de órdenes satisfechas y cantidad de producto despachado.

Política de inventario de pedido fijo				
Repetición	Cantidad de órdenes satisfechas	Cantidad de órdenes no satisfechas	Cantidad de producto despachado	Cantidad de producto no despachado
1	3660	79	24172	938
2	3577	104	23807	1064
3	3480	83	22662	821
4	3535	84	22769	1701
5	3681	83	23934	1175
6	3562	84	22797	1150
7	3515	84	23173	707
8	3573	89	23473	1278

9	3648	92	23537	1042
10	3608	89	23291	1355
Promedio	3.583,90	87,10	23.361,50	1.123,10

Se considera, para el cálculo de indicador OTIF (On Time In Full) o DIFOT (Delivery On Time In Full), como el cociente entre la cantidad de órdenes solicitadas por cliente despachadas a tiempo y en cantidades correctas, y el promedio de cada columna como la cantidad total de órdenes solicitadas en el tiempo de simulación, tal y como se presenta en la ecuación (5).

$$DIFOT = \frac{\text{Cant. de órdenes entregadas en cantidad y tiempo correctas}}{\text{Cantidad total de pedidos solicitados}} \times 100\% \quad (5)$$

Para calcular DIFOT para el escenario de política de inventario de pedido fijo, se considera el promedio de las diez repeticiones de la columna cantidad total de órdenes satisfechas sobre la suma entre la cantidad total de órdenes satisfechas y órdenes no satisfechas, tal como lo muestra la ecuación (6).

$$DIFOT = \frac{\text{Cant. de órdenes satisfechas}}{\text{Cant. de órdenes satisfechas} + \text{Cant. órdenes no satisfechas}} \times 100\% \quad (6)$$

Al aplicar la ecuación (6) en el escenario de simulación, se obtiene como resultado un indicador DIFOT de $97,6 \pm 0,1798\%$.

En la Tabla 38 se presenta la cantidad total de órdenes de compra emitidas para el reabastecimiento, cantidad total de unidades que llegaron a la bodega para reaprovisionar el inventario de producto, el inventario medio total como suma de la cantidad total en tránsito y la cantidad total de inventario en bodega, y, el inventario medio en bodega.

Tabla 38: Resultados para las repeticiones del escenario de simulación de política de inventario de pedido fijo respecto a los niveles medios de inventario en bodega y nivel de inventario total (bodega + tránsito).

Cantidad pedido fijo				
Repetición	Cantidad de órdenes de compra emitidas	Cantidad total unidades pedidas	Prom.inventario total (en tránsito + en bodega)	Inventario medio en bodega
1	49	24500	342,82	254,57
2	49	24500	343,17	247,82
3	46	23000	342,38	251,72
4	46	23000	342,05	252,79
5	49	24500	344,35	253,34
6	47	23500	342,62	249,13
7	47	23500	343,18	254,24
8	48	24000	343,04	252,79
9	48	24000	342,39	251,79
10	48	24000	343,95	252,07
Promedio	47,70	23.850,00	343,00	252,03

5.2.6 Escenario de política de periodo fijo para los parámetros presentados

De la misma manera que se genera en el escenario de política de pedido fijo, se realizan los experimentos asociados a la aplicación de una política de inventario de periodo fijo bajo los parámetros iniciales. Así, en la Tabla 39 se presentan los resultados de las repeticiones del escenario de simulación en términos de la cantidad de órdenes satisfechas y no satisfechas, como también, la cantidad de producto despachado y no despachado. Con esta información se utiliza la ecuación (6) para calcular el indicador DIFOT obteniendo un $97,78 \pm 0,1574\%$.

Tabla 39: Resultados para las repeticiones del escenario de simulación de política de inventario de periodo fijo respecto a la cantidad de órdenes satisfechas y cantidad de producto despachado.

Cantidad periodo fijo				
Repetición	Cantidad de órdenes satisfechas	Cantidad de órdenes no satisfechas	Cantidad de producto despachado	Cantidad de producto no despachado
1	3683	92	23657	1408
2	3281	81	21806	3140
3	3638	84	23731	1320
4	3535	77	22817	1262
5	3682	91	23938	1083
6	3542	78	22677	1396
7	3460	71	22256	1966
8	3428	78	22265	2484
9	3559	71	22983	1098
10	3489	78	22702	1463
Promedio	3.529,70	80,10	22.883,20	1.662,00

Por último, y de la misma forma que se entrega la Tabla 38 la información asociada a la cantidad de órdenes de compra y productos solicitados, junto con el inventario medio total como la suma del inventario en tránsito e inventario en bodega, y también el inventario medio en bodega para las diez repeticiones utilizando una política de inventario de pedido fijo, se presenta la Tabla 40 aplicando estos mismos conceptos a una política de inventario de periodo fijo.

Tabla 40: Resultados para las repeticiones del escenario de simulación de política de inventario de periodo fijo respecto a los niveles medios de inventario en bodega y nivel de inventario total (bodega + tránsito).

Cantidad periodo fijo				
Repetición	Cantidad de órdenes de compra emitidas	Cantidad total unidades pedidas	Prom.inventario total (en tránsito + en bodega)	Inventario medio en bodega
1	72	24127	319	207,69

2	72	22172	319,9	209,49
3	72	24142	318,57	201,22
4	72	23168	325,99	198,18
5	72	24381	320,44	199,26
6	72	22936	324,55	200,84
7	72	22630	325,75	201,22
8	72	22773	320,46	207,81
9	72	23302	322,42	204,14
10	72	23045	323,55	204,03
Promedio	72,00	23.267,60	322,06	203,39

5.2.7 Análisis de las variables de decisión para determinar la mejor política de inventario para los parámetros presentados

Para analizar cuál es la política de inventario más adecuada para los parámetros presentados, se comparan la aplicación de una política de inventario basada en periodo y pedido fijo bajo los parámetros presentados respecto a: stock faltante o costo de faltante, indicador DIFOT, nivel de inventario medio en bodega y los costos globales de inventario.

Para calcular el costo por faltante, se utiliza la columna cantidad total de producto no despachado de la Tabla 37 y Tabla 39. Luego, y según la información Tabla 34 se utiliza la ecuación (7) para calcular el costo por faltante. Así, el costo por material faltante para el escenario de pedido fijo es CLP 786.170. Por el contrario, para el escenario de periodo fijo el costo por faltante es CLP 1.163.400.

$$\text{Costo de faltante} = \text{cant. total de producto no despachado} * \text{costo por faltante} \quad (7)$$

Para calcular el costo de compra anual, se utiliza la columna cantidad total de unidades pedidas de la Tabla 38 y Tabla 40. Luego, y según la información Tabla 34 se utiliza la ecuación (8) para calcular el costo de compra anual. Así, el costo por compra anual para el escenario de pedido fijo es CLP 2.385.000. Por el

contrario, para el escenario de periodo fijo el costo por compra anual es CLP 2.326.760.

$$\text{Costo de compra anual} = \text{cant. total de producto comprado} * \text{costo por material} \quad (8)$$

Para calcular el costo anual de emisión de órdenes de compra, se utiliza la columna cantidad de órdenes de compra emitidas de la Tabla 38 y Tabla 40. Luego, y según la información Tabla 34 se utiliza la ecuación (9) para calcular el costo de preparación o de emisión de órdenes de compra. Así, el costo por preparación anual para el escenario de pedido fijo es CLP 262.350. Por el contrario, para el escenario de periodo fijo el costo por compra anual es CLP 396.000.

$$\text{Costo de pedidos anual} = \text{cant. total de órdenes de compra} * \text{costo por OC} \quad (9)$$

Para calcular el costo de mantenimiento anual, se utiliza la columna Inventario medio en bodega cantidad total de unidades pedidas de la Tabla 38 y Tabla 40. Luego, y según la información Tabla 34 se utiliza la ecuación (10) para calcular el costo de mantenimiento anual. Así, el costo por mantener para el escenario de pedido fijo es CLP 504.060. Por el contrario, para el escenario de periodo fijo el costo por mantener es CLP 406.780.

$$\text{Costo de mantenimiento anual} = \text{Inv. medio en bodega} * \text{costo por mantener} \quad (10)$$

Por último, para calcular el costo total de inventario para el escenario de política de inventario se suma los resultados de la ecuación (8), (9) y (10). En la Tabla 41 se presentan los costos globales para una política de pedido y periodo fijo. El costo total asociado a la política de pedido fijo es de CLP 3.151.410. Por otra parte, el costo total asociado a una política de periodo fijo es de CLP 3.129.540.

Por otra parte, se calcula la cantidad de venta total para cada una de las políticas de inventario. Se utiliza la columna Cantidad de producto despachado de la Tabla 37 y Tabla 39. Luego, y según la información Tabla 34, se utiliza el precio

de venta del producto. Así, la cantidad de venta para el escenario utilizando una política de pedido fijo es CLP 23.361.500 y para una política de periodo fijo es CLP 22.883.200.

Tabla 41: Costos globales; faltante y cantidad de venta total para las políticas de pedido y periodo fijo en el escenario presentado.

Política de inventario	Costo por faltante anual [CLP]	Costo global anual [CLP]	Venta total de producto [CLP]
Pedido fijo	\$786.170	\$3.151.410	\$23.361.500
Periodo fijo	\$1.163.400	\$3.129.540	\$22.883.200

Al compara DIFOT para el escenario de periodo y pedido fijo, se observa que no hay diferencias entre la utilización de una política u la otra en términos de OTIF. Por otro lado, al comparar los costos por faltante, se encuentra una diferencia de CLP 377.230 más costoso aplicar una política de periodo fijo respecto de pedido fijo para los parámetros presentados. Existe una diferencia de CLP 21.870 más costosos al comparar los costos globales anuales de una política de inventario de pedido fijo respecto a periodo fijo. Por último, se compara la venta total de producto al manejar una política u la otra, obteniendo una diferencia de CLP 478.300 a favor de la aplicación de una política de inventario de pedido fijo.

Por lo tanto, para los parámetros presentados, al generar el balance general de ventas versus costos aplicando cada una de las políticas de inventario (pedido y periodo fijo), se obtiene un margen de CLP 20.210.090 para una política de inventario de pedido fijo y CLP 19.753.660 para una política de inventario de periodo fijo. Por otra parte, el costo por faltante del escenario aplicado a una política de pedido fijo es CLP 376.740 menos que la política de periodo fijo. Así, se decide que la mejor política de inventario es la de pedido fijo para esta distribución presentada.

5.3 Experimentación escenario laboratorio de Producción

5.3.1 Determinación de variables y parámetros de entrada para la propuesta de laboratorio de Producción

Para el laboratorio de Producción, los parámetros que se consideran son los siguientes:

- Tiempo de proceso de cada máquina.
- Variables de mantenimiento de detecciones no programadas (MTBF y MTTR).
- Eficiencia de cada equipo y operario.
- Cantidad inicial de cada tipo de materia prima, punto de pedido y cantidad a ordenar.
- Cantidad requerida de producto terminado por cada orden de trabajo junto con la fecha de pedido y fecha requerida.
- Tiempo de transporte de cada materia prima hasta el taller de manufactura.
- Distribución de probabilidad en términos de parámetros de calidad para aceptar o rechazar el lote productivo.
- Costo de uso de máquina, operadores y uso de materia prima

5.3.2 Lógica de funcionamiento de escenarios de propuesta de Laboratorio de Producción

Se propone un escenario concreto para demostrar la potencialidad de la propuesta de Laboratorio de Producción. Para ello, y tomando como referencia lo establecido en la Sección 3.2.1, se quiere producir tres tipos de productos: A, D y E. Además, se poseen cinco máquinas que representan distintos tipos de secuencias productivas: Corte, Impresión, Soldadura, Ensamblado y Empaque. Los productos anteriormente descritos poseen una secuencia de producción distinta y que se detalla en la Tabla 43. Además, las máquinas se les asigna una ubicación específica que se presenta en la Tabla 42. También, se presentan 2 operadores, que son capaces de manipular distintos tipos de máquinas tal como se muestra en la Tabla 44.

Supuestos y simplificaciones generales para el escenario propuesto

- a) Se consideran cuatro meses de operación considerando la programación de la producción y turnos productivos asociados. Es decir, 2.880 horas para la propuesta de laboratorio de manufactura. Además, la fábrica funciona en cuatro turnos de cinco horas con un descanso de una hora entre turnos desde las 0:00am a 23:00pm.
- b) En el laboratorio de Producción, la secuencia de ruta que presenta cada material se presenta de forma demostrativa del potencial de la herramienta modular de simulación. Es posible crear nuevas rutas de secuencia a medida que se incrementa la complejidad del modelo.

Para llevar a cabo el escenario propuesto, en la Figura 41 se presenta la distribución lógica de las máquinas en el taller de manufactura. Cabe mencionar, que esta secuencia de funcionamiento se acoge a la lógica mencionada en la Figura 13. A partir de ésta, es posible plantear distintos escenarios más complejos o simples dependiendo de los criterios de evaluación que se planteen en el laboratorio. También, trata de evidenciar la característica modular de la propuesta de Laboratorio de Producción, donde el usuario puede generar distintas secuencias, layouts y, programaciones. Además, cada bloque dentro del flujo lógico presentado corresponde a una máquina en particular.



Figura 41: Distribución lógica de funcionamiento de máquinas propuesta de laboratorio de Producción del escenario.

Es necesario generar un layout del taller. Estas máquinas poseen una distribución física en la planta y, por lo tanto, es un requisito ingresar los datos de entrada.

En la Tabla 42 se presentan los valores para el eje X y Z de todas las máquinas presentes en el escenario propuesto. Cabe mencionar que estos valores están referenciados a la animación puesta en SIMIO.

Tabla 42: Referencia cartesiana en un plano XZ para la distribución de las máquinas en el taller.

Eje	Corte	Impresión	Soldadura	Ensamblado	Empaque
X (m)	- 15	- 15	15	15	25
Z (m)	- 15	0	- 15	0	- 7

No todos los productos en las plantas de manufactura poseen la misma secuencia de trabajo; y, por tanto, es necesario presentar la secuencia de trabajo de los materiales, fundamental a la hora de la simulación. Las secuencias de los materiales trabajados se presentan en la Tabla 43.

Tabla 43: Secuencia de trabajos del escenario propuesto para los materiales A, D y E.

Máquina	Material A	Material D	Material E
Corte	☒		☒
Impresión		☒	☒
Soldadura	☒		☒
Ensamblado		☒	☒
Empaque	☒	☒	☒

Además de expresar la distribución de la maquinaria, en las Figura 42, Figura 43 y Figura 44, se puede observar el BOM para la creación de un producto de los materiales A, D y E respectivamente. Estas estructuras de producto se encuentran presentes en el escenario de simulación. Se considera que la materia prima para generar el material A y D, se consume en el proceso de Corte e Impresión respectivamente. Sin embargo, para la creación del producto terminado E, se considera que los materiales B y H que son necesarios para crear el producto semi elaborado G, se consumen en Corte. Los materiales F y G se consumen en el

Proceso de Soldadura. Para finalizar, los productos terminados A, D y E presentes en el escenario, se consideran producidos en el Proceso de Empaque.

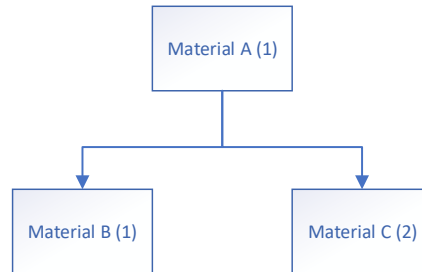


Figura 42: Estructura de producto para el Material A que se considera tanto para el escenario propuesto.

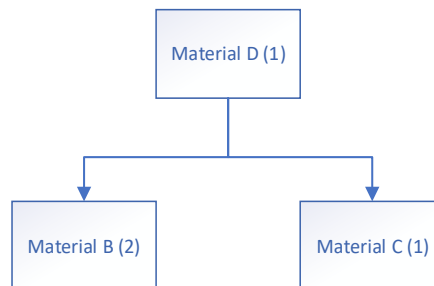


Figura 43: Estructura de producto para el Material D que se considera tanto para el escenario propuesto.

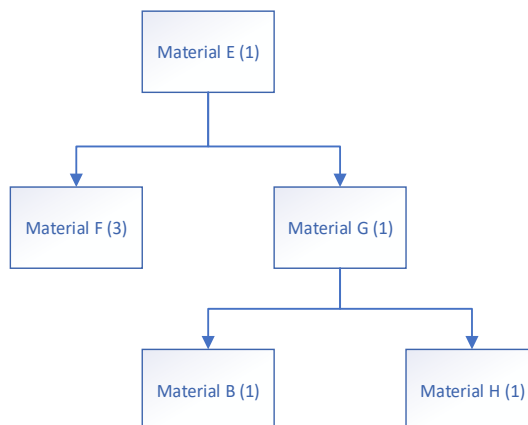


Figura 44: Estructura de producto para el Material E que se considera para el escenario propuesto.

Como supuesto cada máquina debe ser operada por un trabajador, y se asume que no todos los operadores son capaces de manipular todas las máquinas. Sin embargo, esto puede ser cambiado por el profesor a cargo y generar que todos

los operadores están aptos para utilizar todas las máquinas. Por ende, es posible hacer que exista un operador por máquina y además, un operador para más de una máquina dependiendo de los requerimientos de la experiencia de aprendizaje.

Para realizar la simulación, es necesario ingresar los datos de entrada. La Tabla 44 muestra la distribución de trabajos donde dos operadores tienen distintas rutas de trabajo para los procesos productivos. Cabe mencionar que cada operador posee una eficiencia diferente al utilizar las máquinas por distintos factores: capacitaciones previas, experiencia con los equipos, y otros.

Tabla 44: Cantidad de operadores considerados en el escenario junto con las áreas de proceso requeridos.

Proceso	Operador 1	Operador 2
Corte	☐	☒
Impresión	☒	☐
Soldadura	☐	☒
Ensamblado	☐	☒
Empaque	☒	☐

Para el factor de análisis de calidad, se considera la tasa de rechazo del lote de producto terminado donde toma como supuesto la aceptación o rechazo de todo el lote solicitado. Ésta, una vez ingresada y a través de distribuciones de probabilidad, se compara con una tasa de rechazo establecida por el Departamento de Calidad y se acepta o rechaza el lote.

5.3.3 Definición de las distribuciones de probabilidad para las variables y parámetros de entrada y de proceso

Los parámetros y variables presentados para el escenario propuesto del laboratorio de Producción se determinan a partir de las recomendaciones de [2] donde proponen distribuciones de probabilidad características para distintos procesos, por ejemplo, distribución de probabilidad triangular o normal para los tiempos de proceso. Cabe destacar que la magnitud de los parámetros, se determinan de forma arbitraria.

Parámetros y distribución de probabilidades de tiempo de proceso para los elementos de maquinaria y operadores presentes en el escenario propuesto de laboratorio de Producción

Cada secuencia de trabajo para cada material posee un tiempo de set – up, proceso y teardown distinto. Es necesario plantear un tiempo de secuencia para cada uno de estos procesos. En la Tabla 45 se presentan los tiempos de proceso de cada una de las secuencias “material – máquina” presentes en el escenario propuesto de Producción. Se toma la distribución de probabilidad para los tiempos de proceso por cada máquina recomendadas por [2] y parámetros determinados de forma arbitraria.

Tabla 45: Distribución del tiempo de proceso en minutos por unidad para las máquinas que se consideran en los escenarios propuestos.

Material	Máquina	Tiempo Set – up	Tiempo Proceso	Tiempo teardown
Material A	Corte	TRIA(0.44; 1.01; 1.52)	TRIA(2.33;3.98;4.32)	NORM(1.44; 0.306)
Material A	Soldadura	NORM(0.93; 0.0138)	TRIA(1.44; 2.35; 3.5)	NORM(2.15; 0.321)
Material A	Empaque	TRIA(0.59; 0.82; 1.11)	TRIA(1.22; 3.98; 4.1)	NORM(1.87; 0.393)
Material D	Impresión	TRIA(0.22; 0.45; 1.2)	TRIA(1.78; 2.09; 3.7)	NORM(2.92; 0.199)
Material D	Ensamblado	TRIA(0.65; 0.69; 0.71)	NORM(2.95; 0.407)	TRIA(0.45; 0.99; 1.44)
Material D	Empaque	NORM(1.01; 0.12)	NORM(1.58; 0.39)	TRIA(1.25; 1.89; 2.52)
Material E	Corte	NORM(1.4;0.23)	NORM(3; 1.31)	TRIA(1.45; 1.69; 1.98)
Material E	Impresión	TRIA(0.22; 0.28; 0.89)	NORM(3.39; 0.26)	NORM(1.0; 0.11)
Material E	Soldadura	TRIA(0.87; 0.88; 0.89)	TRIA(3.37;4.04; 5.55)	NORM(1.92; 0.22)
Material E	Ensamblado	TRIA(0.91; 1.1; 1.14)	NORM(4.5; 0.99)	NORM(2.2; 0.59)
Material E	Empaque	NORM(1.34; 0.11)	TRIA(1; 2.24; 5.54)	TRIA(2.43; 2.91; 3.37)

Cada máquina posee su propia eficiencia, siendo esa particularidad necesaria para plantear el modelo en cuestión. En la Tabla 46 se presentan las eficiencias de máquina para la propuesta de laboratorio de manufactura. Se toma la distribución de probabilidad para la eficiencia de cada máquina recomendadas por [2] y parámetros determinados de forma arbitraria.

Tabla 46: Funciones de distribución de probabilidad de eficiencia para cada una de las máquinas para el laboratorio de manufactura.

Máquina	Distribución	Expresión
Corte	Normal	NORM(0.91; 0.05)
Impresión	Triangular	TRIA(0.95; 1.02; 1.22)
Soldadura	Triangular	TRIA(0.89; 0.94; 0.98)
Ensamblado	Normal	NORM(0.98; 0.098)
Empaque	Normal	NORM(0.97; 0.032)

Es necesario considerar la probabilidad de que los operadores lleguen tarde a sus puestos de trabajo después de cada cambio de turno. Es por ello, que, en la Tabla 47, se presenta la distribución de probabilidad discreta de llegar tarde, así como la tasa de minutos tardes para cada operador.

Tabla 47: Probabilidad de llegar tarde a cada turno y tasa de la cantidad de minutos tarde por operador para escenario de laboratorio de manufactura.

Operador	Probabilidad llegar tarde	Minutos tarde
Operador 1	BINOM(0.15, 1)	NORM(7.83, 1.85)
Operador 2	BINOM(0.1, 1)	NORM(4.65, 1.19)

Por último, en la Tabla 48 se presenta la eficiencia del operador y además su rapidez desplazándose por el modelo de simulación. Los valores fueron impuestos de forma arbitraria.

Tabla 48: Parámetros de eficiencia operacional y rapidez de desplazamiento para cada operador para el escenario de simulación de manufactura.

Parámetro	Operador 1	Operador 2
Eficiencia	0.89	0.95
Rapidez [m/s]	2.5	3.5

Parámetros para los inventarios de materias prima y producto terminado para los elementos presentes en escenario de laboratorio de Producción

Los inventarios de cada una de las materias primas para el laboratorio de manufactura se presentan en la Tabla 49 según variables arbitrarias constantes. Es preciso señalar que no se consideran los productos terminados como stock de seguridad, sino que las órdenes se producen mediante la metodología Just In Time (JIT).

Tabla 49: Propuesta de cantidad de manejo de materias primas para el escenario propuesto del laboratorio de Producción.

Propuesta laboratorio Producción			
Material	Inventario inicial [u]	Punto pedido [u]	Cantidad de inventario máximo a pedir [u]
Material B	4000	3500	3000
Material C	6200	2500	2500
Material F	5000	1500	3500
Material G	6000	0	0
Material H	3500	3000	4600

En la Tabla 50 se aprecia el formato de solicitud de órdenes de pedido que se realizan para un mes determinado, en para el escenario de la propuesta de laboratorios de manufactura. Esta solicitud, se genera tomando en consideración cantidades arbitrarias de solicitud de materiales. Cabe mencionar que el status de la orden refiere a si un pedido con su proceso productivo iniciado (WIP) o un pedido que no ha iniciado su proceso productivo (nuevo producto). Se consideran 2.000 órdenes de trabajo para un año de ejercicio.

Tabla 50: Fecha solicitud de órdenes para la propuesta de laboratorio de producción.

Orden	Material Solicitado	Status orden	Cantidad	Fecha Solicitada	Fecha requerida
1	Material A	Nuevo	60	1-1-2021	3-1-2021
2	Material D	Nuevo	70	2-1-2021	5-1-2021

3	Material A	Nuevo	38	15-1-2021	16-1-2021
4	Material E	Nuevo	80	14-1-2021	16-1-2021
5	Material E	WIP	43	1-1-2021	2-1-2021
6	Material D	WIP	88	1-1-2021	2-1-2021
7	Material A	WIP	95	1-1-2021	2-1-2021

Para poder generar una gran cantidad de órdenes de trabajo y no caer en la monotonía de ingresar uno a uno los valores, se presenta la Tabla 51 como plantilla de trabajo Excel a fin de poder automatizar la inscripción de datos. Cabe mencionar que los valores referenciados son del escenario propuesto. Si se requiere plantear otro escenario, solamente es necesario asimilar las fórmulas a estos parámetros. Además, el status orden está en razón 1:10 entre WIP y nuevo.

Tabla 51: Plantilla automatizada en Excel para las órdenes de trabajo.

Columna	Descripción
Número Orden	Relleno rápido hasta cantidad requerida. En este caso, 250.
Material	Elegir(aleatorio.entre(1;3);"Material A"; "Material D"; "Material E")
Status orden	Elegir(aleatorio.entre(1;10);"WIP"; "Nuevo"; "Nuevo"; "Nuevo"; "Nuevo"; "Nuevo"; "Nuevo"; "Nuevo"; "Nuevo")
Cantidad	Aleatorio.entre(50;110)
Fecha ingresada	SI(C1="WIP"; 44197;Aleatorio.entre(44197; 44256))
Fecha requerida	FechaIngresada+aleatorio.entre(20; 35)

Para la fecha ingresada, estas están en referencia absoluta del software Excel. Para el ejercicio de simulación, se considera como inicio de la simulación el 1-1-2021. Por lo tanto, el número 44197 es esta fecha referenciada a los parámetros Excel. Por otra parte, la fecha requerida es una referencia a la casilla fecha ingresada sumándole un número aleatorio entre 10 y 25 para llegar a la fecha requerida.

Parámetros de distribución de probabilidad de tiempos de transporte de material para los elementos presentes en el escenario de laboratorio de Producción

Los tiempos de transporte de los materiales desde los distintos eslabones de la cadena de suministros considerados en el laboratorio de Producción se presentan en la Tabla 52. Se toma la distribución de probabilidad para los tiempos de transporte de material recomendadas por [2] y parámetros determinados de forma arbitraria.

Tabla 52: Función de distribución de probabilidad de tiempo para cada material transportado desde el Abastecimiento de materiales hasta la planta.

Material	Distribución	Expresión (horas)
Material B	Normal	NORM(1.59; 0.43)
Material C	Triangular	TRIA(0.99; 1.67; 2.43)
Material F	Normal	NORM(2.01; 0.4)
Material H	Normal	NORM(1.1; 0.22)

Parámetros de calidad para cada material y distribución de función de probabilidad para la variabilidad de la fuente de medición en los elementos presentes en el laboratorio de manufactura

La Tabla 53 presenta la tasa de rechazo de los Materiales A, D y E. Si la tasa de probabilidad es mayor a un 12%, entonces el producto es rechazado por calidad. Se toma la distribución de probabilidad para efectos de calidad recomendada por [2] y parámetros determinados de forma arbitraria.

Tabla 53: Tasa de rechazo de los productos terminados en laboratorio de Producción.

Producto Terminado	Distribución	Expresión
Material A	Normal	NORM(0.94; 0.0461)
Material D	Normal	NORM(0.93; 0.0599)
Material E	Normal	NORM(0.93; 0.0444)

Parámetros de costos por uso de máquina, operador y material para el escenario de laboratorio de Producción

En la Tabla 54 se presentan los parámetros de costos en pesos chilenos asociados por el uso de la materia prima por cada vez que se consuma un material en particular dentro del escenario de laboratorio de manufactura.

Tabla 54: Costos por uso de materia prima en CLP para escenario de laboratorio de producción.

Material	B	C	F	G	H
Costo (CLP)	3.000	4.500	3.990	5.980	1.250

En las Tablas 55 y Tablas 56 se presentan los parámetros de costos por el uso y no uso de la maquinaria y operador por hora presente en cada intervención que poseen dentro de la creación de la orden de trabajo.

Tabla 55: Costos por uso de máquinas por hora en CLP para escenario de laboratorio de manufactura.

Máquina	Corte	Impresión	Ensamblado	Soldadura	Empaque
Costo (CLP)	13.000	14.000	15.000	10.000	12.000

Tabla 56: Costos por uso de operarios en CLP para escenario de laboratorio de producción.

Operador	Operador 1	Operador 2	Operador 3
Costo (CLP)	4.500	3.500	4.500

Parámetros de distribución de probabilidad de tiempos de transporte de material para los elementos presentes en el escenario de laboratorio de Producción

En la Tabla 57 se presentan las distribuciones de probabilidad para los tiempos medios hasta la falla (MTBF), mientras que en la Tabla 58, la distribución de probabilidad de los tiempos de reparación (MTTR) por cada máquina que se consideran dentro de la propuesta de laboratorios de manufactura.

Tabla 57: Distribución del tiempo de buen funcionamiento (MTBF) por cada máquina utilizada en el laboratorio de producción.

Máquina	Distribución	Expresión
Corte	Weibull	313+WEIB (85.4; 5.48)
Impresión	Weibull	438+WEIB(77.5; 6.77)
Soldadura	Weibull	401+WEIB(90.09; 4.58)
Ensamblado	Weibull	563+WEIB(36.97; 6.98)
Empaque	Weibulle	349+WEIB(94.5; 7.45)

Tabla 58: Distribución del tiempo para reparar (MTTR) por cada máquina utilizada en el laboratorio de producción.

Máquina	Distribución	Expresión (horas)
Corte	Normal	NORM(4.05; 1.05)
Impresión	Normal	NORM(5.99; 1.2)
Soldadura	Normal	NORM(4.44; 0.65)
Ensamblado	Normal	NORM(7.54; 1.84)
Empaque	Normal	NORM(4.4; 0.81)

5.3.4 Experimentación de la pregunta de reflexión planteada aplicada al laboratorio de Producción

Para poder analizar el cumplimiento de orden según fecha requerida por cliente, se utiliza el indicador OTIF (On Time In Full) o DIFOT (Delivery In Full, On Time). Este permite estudiar la capacidad de respuesta de una orden de producción frente a la fecha requerida del cliente por dicha orden. Con la finalidad de estudiar el comportamiento de este concepto, se utiliza la ecuación (5).

La forma de estudiar el escenario de Producción se basa en la metodología de la Figura 12. En general los producción y operaciones se componen de distintos factores de fuentes de variabilidad y, por ende, es necesario estudiar el problema en globalidad y según cada fuente de variabilidad.

En el caso del escenario de producción propuesto, en una primera etapa se diagnostica éste con los parámetros iniciales presentados en el inciso 3.2, analizar

DIFOT y luego evaluar mejoras en el sistema de producción con la finalidad de mejorar dicho indicador. Para realizar esto, se analiza el porcentaje de uso de recursos (máquinas y operadores) por cada escenario planteado utilizando la ecuación (11). Cabe mencionar que el tiempo total de simulación es 2.880 horas.

$$Uso\ de\ recursos = \frac{\sum \text{horas utilizadas por recurso}}{\text{Tiempo total de la simulación}} \times 100 [\%] \quad (11)$$

Para la resolución de este problema, se consideran tres escenarios evaluando DIFOT, proponiendo en cada uno de ellos agregar recursos o mejoras en el proceso productivo. Estos son:

- **Primer escenario:** Diagnóstico del ejemplo planteado para el laboratorio de producción; evaluación de DIFOT y porcentaje de uso de recursos (máquinas y operadores).
- **Segundo escenario:** Incorporación de un recurso Operador y evaluación de DIFOT y porcentaje de uso de recursos (máquinas y operadores).
- **Tercer escenario:** Incorporación de un recurso Operador y recurso Empaque junto con mejoras al proceso interno de calidad. Posterior a esto evaluar DIFOT y porcentaje de uso de recursos (máquinas y operadores).

Cabe mencionar que se realizan solo tres escenarios y analizar su comportamiento ya que, el objetivo es demostrar que el uso de la propuesta de laboratorio de Producción permite evaluar aspectos vistos en la asignatura de Gestión de Producción y Operaciones.

5.3.5 Análisis para el primer escenario del laboratorio de Producción

Se genera un primer diagnóstico de los parámetros presentados en el inciso 5.3.3 para el escenario productivo. Se trabaja con 10 réplicas por cada escenario. Así, se calcula el porcentaje de uso de los recursos considerando la ecuación (11) y se presenta en la Figura 45.

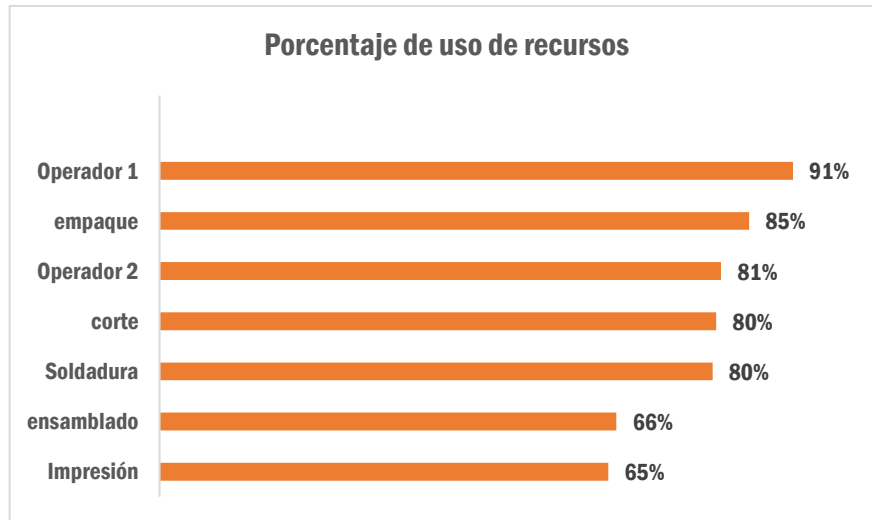


Figura 45: Porcentaje de uso de recursos para el primer escenario del laboratorio de Producción según un tiempo total de simulación (2.880 horas).

Como variables de salida del proceso de simulación, en la Tabla 59 se presentan los resultados de las órdenes de producción respectivas para el escenario de producción según los parámetros descritos en el inciso 5.3.3. La cantidad de órdenes planificadas son la cantidad total de órdenes ingresadas al programa de producción, Órdenes entregadas a tiempo son la cantidad de trabajos que terminaron su proceso productivo con tiempo menor o igual a la fecha requerida por cliente, la columna % órdenes aceptados por calidad, es de la cantidad total de órdenes que pasaron la validación de calidad de producto y, por último, se presenta la columna DIFOT como resultado del proceso productivo.

Tabla 59: Resultados de órdenes de producción para el primer escenario de producción dentro del tiempo de simulación de 16 semanas.

Tipo de trabajo	Órdenes planificadas	Trabajos entregados a tiempo	% aceptadas por calidad	DIFOT
WIP	25	25	80	0,8
Nuevo	225	141	94,33	0,59
TOTAL	250			0,612± 0,0358

Así, gracias a la ecuación (5), se calcula DIFOT obteniendo un $61,2 \pm 3,58\%$ de cumplimiento de orden.

5.3.6 Análisis del segundo escenario para el laboratorio de Producción

Al observar la Figura 45, se concluye que el operador 1 es el que más porcentaje de uso tuvo dado que es el único capaz de utilizar la máquina Empaque, esto genera un cuello de botella en el proceso productivo. Por ende, se toma la decisión de incorporar un tercer operador con la capacidad de utilizar todas las máquinas, y con parámetros de entrada tal como lo muestra la Tabla 60.

Tabla 60: Parámetros asignados al Operador 3.

Recurso	Rapidez [m/s]	Eficiencia	TasaLlegadaTarde	TiempoTarde
Operador3	3	0,91	BINOM(0.07, 1)	NORM(5.26, 1.77)

Cabe mencionar que, para incorporar un nuevo operador en la secuencia de producción, es necesario modificar las tablas Operadores y ObjetosModelo de los datos de entrada del modelo de Producción. A su vez, es necesario modificar la cantidad vectorial de las variables de estado *TiempoProceso*, *FilaExcel* y *TiempoInicioProceso* para que pueda entregar la data necesaria.

De la misma manera que el análisis del escenario anterior, en la Figura 46 se presentan los tiempos de trabajo efectivo por cada máquina y operador dentro del escenario dos del laboratorio de producción. Se observa una disminución del porcentaje de uso de recursos para los operadores, lo que permite mejorar la rapidez del procesamiento de órdenes. Sin embargo, el recurso Empaque continua con un porcentaje de uso mayor a un 80 por ciento, lo que genera un cuello de botella para terminar el proceso de las órdenes.

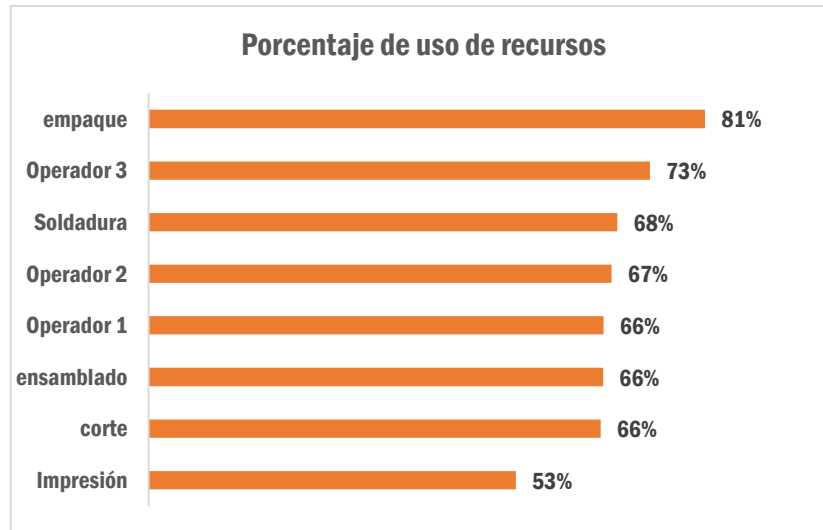


Figura 46: Porcentaje de uso de recursos para el tercer escenario del laboratorio de Producción según un tiempo total de simulación (2.880 horas).

En la Tabla 61 se presentan los resultados del segundo escenario aplicado al modelo de Producción. Aunque el porcentaje de uso de operadores disminuye, esto no trajo como consecuencia un aumento significativo en el indicador DIFOT. Al analizar la cantidad de órdenes entregadas a tiempo, para los productos WIP (productos que ya habían comenzado su proceso productivo al momento de correr la simulación), se entregan todas las órdenes a tiempo, y, para los productos Nuevos (productos que no habían comenzado su proceso productivo al momento de iniciar la simulación), es posible ver un aumento de un 27 por ciento respecto al primer escenario. Sin embargo, en el análisis de Calidad, para los productos WIP el indicador permanece en un 80 por ciento, y para los productos Nuevos, el indicador de calidad disminuye un 14 por ciento respecto al primer escenario, lo que permite concluir una alta variabilidad en el proceso por parte de la fuente de variabilidad Medición. Por ende, si bien se producto un aumento de un 27 por ciento de finalización del proceso productivo de órdenes a tiempo, no se refleja en DIFOT producto de la cantidad de órdenes rechazadas por calidad.

Tabla 61: Resultados de órdenes de producción para el segundo escenario de producción dentro del tiempo de simulación de 16 semanas.

Tipo de trabajo	Órdenes planificadas	Trabajos entregados a tiempo	% aceptadas por calidad	DIFOT
WIP	25	25	80	0,8
Nuevo	225	179	80,57	0,64
TOTAL	250			0,6569 ± 0,0298

5.3.7 Análisis del tercer escenario del laboratorio de Producción

Se tiene en cuenta el porcentaje de uso de recursos del escenario anterior y se toma la decisión de incorporar un recurso Máquina en la zona de Empaque denominado Empaque 2. A su vez, se incorpora un recurso operador denominado Operador 4, para no ocasionar un cuello de botella como se provocó en el escenario diagnóstico.

Las propiedades del recurso incorporado Empaque2 son las mismas propiedades asignadas para el recurso Empaque, y que se declaran en el inciso 5.3.3. Se le atribuye los mismos tiempos de setup, proceso y teardown como también la misma eficiencia. Los parámetros MTBF y MTTR también son idénticos. Por otra parte, para poder generar la lógica de trabajo en paralelo, se debe incorporar un nodo Union al modelo de simulación y además, ingresar la información a la Data Table Nodos Máquina, tal como muestra la Figura 47. En esta tabla, se relaciona el nodo Union1, a los recursos Empaque1 y Empaque. Como se menciona en la Tabla 18, el nodo Union1 seleccionará de manera dinámica, evaluando cada vez que ingrese un producto para ser empaquetado, cuál de los dos recursos posee menor cantidad de entidades en espera.

Nodos Maquina		Trabajos Programados	WIP	Se
	Nombre Objeto	Nodo		
1	Union1	Input@Empaque		
2	Union1	Input@Empaque1		
*				

Figura 47: Incorporación de información a Tabla Nodos Máquina para generar que recursos Empaque trabajen en paralelo.

Por otra parte, se genera un proceso de mejora en términos de calidad para generar menor cantidad de rechazos de los productos. Así, la Tabla 62 presenta los nuevos valores de las tasas de rechazo de material.

Tabla 62: Nuevos valores para las tasas de rechazo de los productos para el laboratorio de producción.

Producto Terminado	Distribución	Expresión
Material A	Normal	NORM(0.95; 0.0319)
Material D	Normal	NORM(0.94; 0.0239)
Material E	Normal	NORM(0.94;0.0324)

Como consecuencia de las mejoras al proceso productivo, se presentan los porcentajes de uso de recursos en la Figura 48. Se aprecia una disminución en los porcentajes de uso de recursos para la máquina Empaque al agregar el recurso Empaque2.

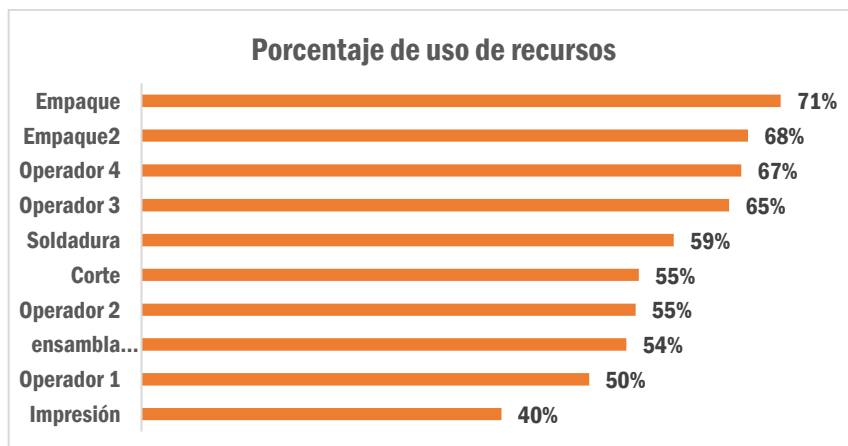


Figura 48: Porcentaje de uso de recursos para el tercer escenario del laboratorio de Producción según un tiempo total de simulación (2.880 horas).

Como mejora en el proceso de Calidad e incorporar un nuevo recurso de Empaque, se obtiene la información relacionada a las órdenes de producción. Así, se presenta la Tabla 63 donde es posible apreciar estos resultados y, además, el indicador DIFOT obtenido para este escenario productivo.

Tabla 63: Resultados de órdenes de producción para el tercer escenario de producción dentro del tiempo de simulación de 16 semanas.

Tipo de trabajo	Órdenes planificadas	Trabajos entregados a tiempo	% aceptadas por calidad	DIFOT
WIP	25	25	80	0,8
Nuevo	225	201	95,02	0,849
TOTAL	250			$0,844 \pm 0,0128$

Como resumen de los resultados de los tres escenarios iterados en el ejemplo de laboratorio de producción, se presenta la Figura 49. Al incorporar un operador en el escenario dos, se produjo una mejoría en un cuatro por ciento solamente respecto al primer escenario. Para el escenario tres, se producen mejorías en la Maquinaria y en el área de Calidad, obteniendo aproximadamente una mejora en un veinte por ciento. Si se generaliza a un nivel profesional, es posible concluir que para realizar mejoras a nivel productivo es necesario tener una visión integral de los procesos para impactar en los resultados de la empresa.

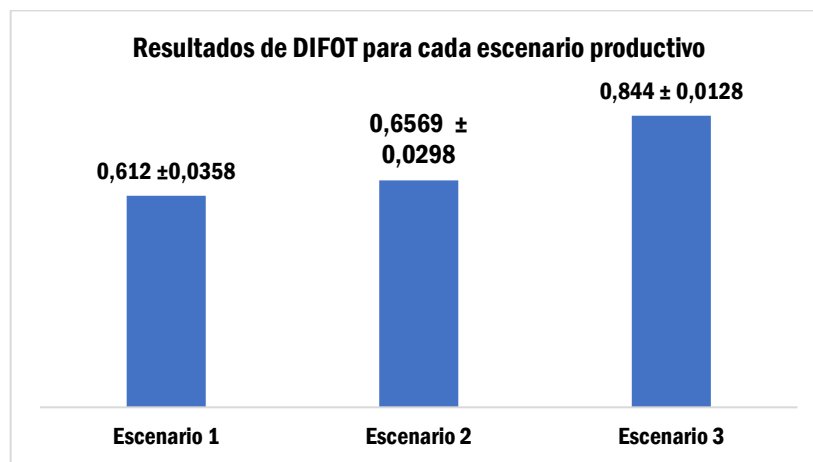


Figura 49: Comparación de los resultados de DIFOT para los tres escenarios de laboratorio de Producción planteados.

6. PROPUESTA DE EVALUACIÓN DE LA EXPERIENCIA DE APRENDIZAJE

En este capítulo se presenta la planificación de la evaluación a realizar una vez implementada la experiencia de aprendizaje. El tipo de escala a utilizar y los rangos de niveles de cuantificación de las respuestas. Los temas centrales que se quieren analizar y las preguntas a incluir en el instrumento encuesta.

Según [18], un método efectivo para generar un muestreo de la efectividad de una experiencia de aprendizaje es la encuesta. Ésta, permite recoger la información de manera ordenada y sistemática, y así, poder direccionar los próximos objetivos para generar una mejora continua en resultados y metodologías.

6.1 Elección de la estructura de la encuesta

La necesidad de establecer evaluaciones de aprendizaje se fundamenta en el desafío de cuantificar los aspectos que son difíciles de medir, tales como la subjetividad, y transformarlo en datos objetivos y cuantificables [19]. Por ende, para la realización del feedback de la experiencia de aprendizaje, es necesario medir la opinión de los estudiantes para analizar la utilidad que esta herramienta tiene en su aprendizaje.

La escala Likert tiene como objetivo medir la “Actitud” de manera válida y científicamente comprobada. [19] define la actitud como: “*Maneras en que el comportamiento, en una circunstancia específica, cambia*”. En un principio la escala Likert se crea con la finalidad de cuantificar la aceptación de los participantes frente a situaciones, de manera individual, desde el nivel “muy en desacuerdo” hasta el “muy de acuerdo”.

Para [19] es importante definir los niveles de cuantificación de aceptación para cada pregunta. Existen dos niveles de cuantificación: simétrico y asimétrico. Cuando se utiliza la primera, existen iguales niveles de aceptación bajo el concepto

de “estar de acuerdo con” y los niveles asociados a tan en desacuerdo se encuentra el participante con algún aspecto preguntado en la encuesta. En la segunda también existe la misma cantidad de niveles, sin embargo, existe un valor central donde los participantes pueden contestar de forma neutral y donde éste puede manifestar independencia de opinión al responder: de acuerdo, en desacuerdo o neutral. Por ende, la cuantificación simétrica fuerza a la persona a escoger entre un nivel de aceptación o rechazo frente a algún aspecto que puede percibirlo de manera neutral.

Comúnmente existen las escalas de puntuación de 5, 7 y 10. La escala de 5 puntos es más radical en términos de la graduación de la opinión que las de 7 y 10. Posee un espectro de opciones menor que las 2 últimas y no ofrece mayor independencia para que la persona pueda entregar de mejor forma su opinión al aspecto encuestado [19].

Dicho esto, con la finalidad de poder cuantificar la variabilidad de opiniones que los estudiantes puedan tener una vez realizada la experiencia de aprendizaje, se hará una encuesta con afirmaciones utilizando escala Likert, con una puntuación de 1 a 7. Donde los valores de puntuación reflejan: 1) Totalmente en desacuerdo; 2) Bastante en desacuerdo; 3) En desacuerdo; 4) Ni de acuerdo ni en desacuerdo; 5) De acuerdo; 6) Bastante de acuerdo; 7) Totalmente de acuerdo.

Además, la escala Likert es de variables muestrales ordinales, es decir, la puntuación que se asigna del 1 al 7 permite darle un orden a las respuestas que va desde totalmente de acuerdo hasta totalmente en desacuerdo. Estas variables pueden ser analizadas mediante un test de desviación de medias con Chi – cuadrado [19].

6.2 Elección de los tópicos a evaluar mediante Likert

El primer paso para la realización de la planificación de evaluación de experiencia de aprendizaje es plantear el problema que se requiere solucionar. Es necesario que el investigador se plantee qué aspectos y objetivos se quieren estudiar. Este es un paso trascendental ya que direcciona el cómo se aborda la

encuesta [18]. Por último, éstos deben ser máximo 3 objetivos, ya que sino la encuesta pierde validez al querer indagar demasiados aspectos.

Cuando ya se confeccionan los objetivos o tópicos que se requiere analizar con la encuesta, es necesario plantear objetivos específicos a estos objetivos generales. De estos objetivos específicos se desprenden las preguntas que conforman la encuesta. En el caso del estudio de la herramienta de aprendizaje que se aplicará a los estudiantes de ingeniería mecánica en el curso de Gestión de producción y operaciones, los objetivos generales y específicos se presentan en la Figura 50. Cabe mencionar que los conceptos de fidelidad y motivación, se definen según el inciso 1.9 y 1.9.1. A su vez, [20] define entendimiento como “Potencia del alma, en virtud de la cual concibe las cosas, las compara, las juzga, e induce y deduce otras de las que ya conoce”.

Las preguntas deben ser simples y concretas, mientras más entendible sea para el encuestado, más sincera será su respuesta [18]. En este caso, se escoge la utilización de afirmaciones en vez de preguntas, con el fin de facilitar la comprensión del estudiante a la hora de contestar la encuesta. Es importante que el encuestado se sienta con la independencia y autonomía suficiente para poder responder de manera certera. Por lo mismo, se plantean afirmaciones en primera persona para que el encuestado se sienta cómodo con estas.

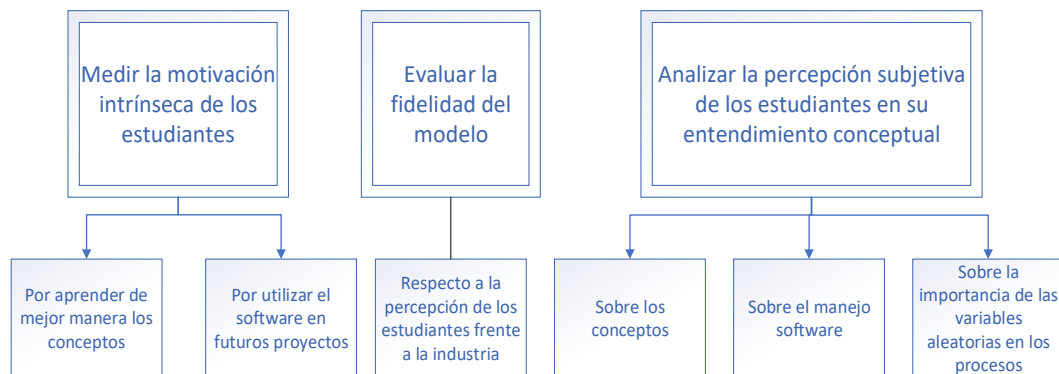


Figura 50: Objetivos generales y específicos para la encuesta con escala de puntuación Likert.

En la Tabla 64 se presentan las afirmaciones que permiten evaluar el objetivo general “Medir la motivación intrínseca de los estudiantes” respecto al objetivo específico “Medir la motivación intrínseca de los estudiantes por aprender de mejor manera los conceptos”.

Tabla 64: Afirmaciones a encuestar para el objetivo general asociado a la motivación respecto al primer objetivo específico.

El uso del simulador me motiva a aprender de mejor manera
El uso del simulador me motiva a seguir indagando sobre el estudio de los procesos productivos
El uso del simulador me impulsa a aprender el uso del software
Prefiero el aprendizaje basado en herramientas tradicionales

En la Tabla 65 se presenta las afirmaciones que permiten evaluar el objetivo general “Medir la motivación intrínseca de los estudiantes” respecto al objetivo específico “Medir la motivación intrínseca de los estudiantes por utilizar el software en futuros proyectos”.

Tabla 65: Afirmaciones a encuestar para el objetivo general asociado a la motivación respecto al segundo objetivo específico.

El uso del simulador me anima a utilizar la herramienta en mi futuro laboral
Recomiendo la utilización de la simulación para aprender
Recomiendo el uso del simulador en otras asignaturas

En la Tabla 66 se presentan las afirmaciones que permiten evaluar el objetivo general “Evaluar la fidelidad del modelo” respecto al objetivo específico “Evaluar la fidelidad del modelo respecto a la percepción de los estudiantes frente a la industria”.

Tabla 66: Afirmaciones a encuestar para el objetivo general asociado a la evaluación de la fidelidad del modelo respecto al objetivo específico planteado.

Pienso que la herramienta de aprendizaje se asemeja a procesos productivos reales

Los procesos productivos mostrados en el simulador se asemejan a los que he visto en mis prácticas universitarias

Pienso que el software me acerca a los procesos productivos empresariales reales
--

En la Tabla 67 se presentan las afirmaciones que permiten evaluar el objetivo general “Analizar la percepción subjetiva de los estudiantes en su entendimiento conceptual” respecto al objetivo específico “Analizar la percepción subjetiva de los estudiantes en su entendimiento sobre los conceptos teóricos del ramo”.

Tabla 67: Afirmaciones a encuestar para el objetivo general asociado a la percepción subjetiva del entendimiento respecto al primer objetivo específico.

Siento que el uso del simulador es más beneficioso si los conceptos son explicados antes del laboratorio
--

Entendí de mejor manera los conceptos revisados en clase
--

Comprendí el significado de los eventos discretos

En la Tabla 68 se presentan las afirmaciones que permiten evaluar el objetivo general “Analizar la percepción subjetiva de los estudiantes en su entendimiento conceptual” respecto al objetivo específico “Analizar la percepción subjetiva de los estudiantes en su entendimiento sobre el manejo del software”.

Tabla 68: Afirmaciones a encuestar para el objetivo general asociado a la percepción subjetiva del entendimiento respecto al segundo objetivo específico.

Me es fácil el manejo del software

Es fácil el entendimiento del proceso a simular

El uso del simulador es difícil de comprender

En la Tabla 69 se presentan las afirmaciones que permiten evaluar el objetivo general “Analizar la percepción subjetiva de los estudiantes en su entendimiento conceptual” respecto al objetivo específico “Analizar la percepción subjetiva de los estudiantes en su entendimiento sobre la importancia de las variables aleatorias en los procesos”.

Tabla 69: Afirmaciones a encuestar para el objetivo general asociado a la percepción subjetiva del entendimiento respecto al tercer objetivo específico.

Entiendo la importancia de las variables aleatorias en los procesos productivos
Me siento capaz de enfrentar problemas reales después de la interacción con el software

Se recomienda, en una primera instancia, generar la aplicación de la experiencia de aprendizaje a un grupo de estudiantes voluntarios que estén impartiendo el curso de “Gestión de producción y operaciones”.

Es necesario que exista un moderador que esté participando de forma activa con la audiencia contestando dudas al respecto del laboratorio y además, observando constantemente el comportamiento de cada uno de los estudiantes durante la sesión. Se debe evaluar distintas aptitudes del cómo estos van respondiendo frente a los problemas que se le plantean y la estrategia que se adopta.

La encuesta se debería realizar cada que vez que finalice un módulo de aprendizaje en donde los estudiantes, de manera anónima, responderán esta al finalizar cada sesión. A su vez, esta encuesta posee cada una de las afirmaciones a evaluar, pero distribuidas en orden aleatorio para favorecer el dinamismo de esta.

El tiempo de ejecución de la encuesta es de un rango de 10 a 15 minutos, en donde los estudiantes puedan reflexionar de manera crítica las afirmaciones que se le plantean.

Finalmente, para el análisis de los datos se utilizará la prueba t – student y Chi – Cuadrado, que busca comparar medias y sus varianzas muestrales respectivamente, de cada una de las afirmaciones encuestadas. Sumado a lo anterior, se analizará la diferencia de medias de las calificaciones de los estudiantes en la asignatura, entre aquellos que realicen la experiencia de aprendizaje versus aquellos que no la realicen, con la finalidad de poder obtener resultados cuantitativos respecto al uso de la herramienta.

Por otra parte, tal y como se menciona en la Sección 1.10.2, se busca que los estudiantes puedan realizar una sesión de debriefing posterior a la realización de la encuesta y sesión de laboratorio. Esta actividad les permite reflexionar y desarrollar su pensamiento crítico respecto a la utilización de la herramienta y los conceptos aplicados.

CONCLUSIONES

El presente trabajo de investigación logró desarrollar un modelo computacional de simulación de escenarios de procesos productivos, para fortalecer competencias en la gestión de Producción y Operaciones, a través de un simulador de eventos discretos, apoyando el proceso de enseñanza – aprendizaje, permitiendo evaluar el logro de competencias profesionales de un Ingeniero Civil Mecánico de la UTFSM.

El diseño de modelos de simulación de procesos de producción y de gestión de inventarios, tuvo como primer desafío definir los requerimientos y restricciones del modelo computacional DES, permitiendo apoyar a los objetivos de aprendizaje del ramo. Se estableció que, se deben aplicar herramientas o métodos de la Gestión de Producción y Operaciones, para diseñar y mejorar sistemas en condiciones simuladas en laboratorio, que permitan lograr soluciones que tengan como resultado aumentar los niveles de efectividad y productividad. Por otra parte, se debe medir el desempeño de sistemas o procesos de producción u operaciones, que son simulados mediante el laboratorio aplicando distintos grados de complejidad. Así, por medio de un análisis estadístico de las variables de salida que entrega el modelo, es posible determinar posibles mejoras de los sistemas a estudiar.

Como segundo desafío, se realizó el diseño lógico de simulación que permitió establecer el sistema de producción y operaciones que se desea implementar en el modelo de simulación. A su vez, esto permitió apoyar a los objetivos de aprendizaje. Para lograr esto, se incorporan fuentes de variabilidad propias de los procesos reales, considerando 3M: Mano de Obra, Materiales y Maquinaria. Se deja fuera de las consideraciones a Medio Ambiente, Mediciones y Métodos de trabajo. Se espera que, en un futuro, y a medida que el laboratorio lo requiera, se incorporen estos tipos de fuentes de variabilidad con la finalidad de desarrollar de manera integral habilidades profesionales de los estudiantes.

Se establecieron dos diseños lógicos de funcionamiento de las propuestas de Laboratorios a modelar, con el objetivo de ajustar de mejor manera la implementación inicial de esta herramienta de aprendizaje en el marco de la malla curricular de Ingeniería Civil Mecánica de la UTFSM. Para el laboratorio de Producción, se utilizó la estructura lógica de un taller de Producción tradicional, y, para el laboratorio de Políticas de Inventario, se empleó la estructura lógica de un centro de distribución o ventas. Ambos diseños permitieron apoyar el proceso de aprendizaje estudiantil y evaluar logros en el desarrollo de competencias profesionales dentro de la Ingeniería Mecánica.

Para la realización de los modelos de simulación, se utilizó el software SIMIO. Así, se construyen dos propuestas robustas de laboratorio para la asignatura de “Gestión de Producción y Operaciones”. Estos modelos permitieron considerar las fuentes de variabilidad anteriormente señaladas, y buscaron dar una característica modular a las experiencias de aprendizaje. Es decir, que faciliten la construcción de distintos tipos de modelos a medida que el ramo lo necesite y la complejidad lo permita.

Gracias a la sólida construcción de los modelos de simulación, fue posible estudiar y analizar, diferentes indicadores de Producción y Operaciones dentro de la asignatura en cuestión. Las distintas temáticas que son posibles de estudiar gracias a los modelos, entregan información suficiente y necesaria que permiten que los estudiantes se sometan a entender de manera lúdica y efectiva, los procesos relacionados a la Gestión de Producción y Operaciones. Es necesario analizar el desenvolvimiento de los alumnos durante las experiencias de aprendizaje, para evidenciar efectivamente si estas herramientas permiten contribuir en el desarrollo profesional del estudiante.

Se estudiaron, a nivel de ejemplo, dos preguntas de reflexión que son posibles de contestar con las herramientas de aprendizaje; una por cada propuesta de Laboratorio. A partir del desarrollo de ambos ejemplos, es posible concluir que, gracias a la construcción de los modelos de simulación, se pudo entender de mejor

manera los problemas que se plantean en un ámbito profesional, donde se presentan eventos aleatorios. Por otra parte, gracias al uso de los modelos de simulación, le es posible a los estudiantes realizar diagnósticos, plantear hipótesis y desarrollar un análisis, reflexionando acerca de los resultados obtenidos y así, tomar decisiones que permitan alcanzar la Excelencia Operacional.

Luego, a partir de la metodología de Escala Likert, se presenta una rúbrica de evaluación asociadas a 3 aristas de estudio: Motivación; Fidelidad del modelo y Entendimiento de los conceptos a evaluar. Esta encuesta debe ser aplicada al finalizar cada sesión, y es necesario que los estudiantes la contesten de forma auténtica y honesta. Por otra parte, es necesario un monitoreo constante del cómo ellos van interactuando con la herramienta de aprendizaje, para así, poder estudiar el desarrollo de competencias en el laboratorio en cuestión.

Se concluye, que el análisis que se debe realizar para el estudio de caso en los Laboratorios debe ser de manera global y no separando cada una las fuentes de variabilidad. Es necesario que los estudiantes entiendan que la toma de decisiones debe ser consensuada y discutida en todas las áreas de una empresa: Abastecimiento; Planificación; Servicio al Cliente; para poder lograr resultados atingentes a lo que se quiere llegar. Parte del desarrollo de los Laboratorios es poder entender que los problemas de Gestión de Producción y Operaciones nacen a partir de múltiples factores.

A partir de lo anterior, y del desarrollo de esta investigación, se ha podido reflexionar sobre el beneficio que esta herramienta tendría en otras áreas de aplicación de la Ingeniería Mecánica. En la actualidad, la implementación de herramientas computacionales que apoyan el proceso de toma de decisiones, es cada vez más frecuente. Por lo tanto, la utilización de este software en áreas de minería, de aviación, de salud, y en aquellas otras áreas donde es posible generar un mejor entendimiento de las variables aleatorias aplicadas, contribuye en la preparación de los estudiantes para poder enfrentar de mejor manera los desafíos industriales.

Aprender a utilizar este software permitiría, además, su aplicación en un ambiente laboral generando una evolución del pensamiento crítico del estudiante y así, tener una formación integral, logrando desarrollar competencias profesionales de un Ingeniero Civil Mecánico de la UTFSM.

Recomendaciones

Se recomienda un seguimiento constante del desenvolvimiento de los estudiantes en torno a esta herramienta didáctica y su desempeño. El presente trabajo busca dar un inicio a la investigación respecto al uso de los modelos de gestión de producción y operaciones en ingeniería mecánica. Por lo tanto, si los estudiantes logran buenos resultados, estudiar la posibilidad de incorporar más variables de entrada al proceso, o más aún, introducir casos de estudios industriales reales estudiados mediante SIMIO.

Es necesario aclarar que existe una restricción por parte del proveedor del software Simio según la licencia académica que la UTFSM posee actualmente. Esta restricción tiene relación con la sumatoria de steps que utiliza cada modelo, donde no puede superar los 150 steps; y la sumatoria de los objetos utilizados en la ventana de navegación de modelos de Simio, donde no puede superar 5 objetos o submodelos. Si una de estas restricciones es sobrepasada, automáticamente el software alerta de que no podrá ser posible guardar y utilizar la herramienta de experimentación, procesos claves para esta propuesta. Sin embargo, es posible obtener una licencia adecuada para poder trabajar con la propuesta, donde se deben establecer conversaciones con el proveedor del software explicando cuál será el uso académico que se le quiere dar y entrar en negociaciones para obtener licencias para todos los estudiantes que estén cursando la asignatura de “Gestión de la Producción y Operaciones”. Por lo tanto, se recomienda investigar respecto a la obtención de licencias académicas adecuadas de SIMIO para poder ejecutar de manera óptima los laboratorios propuestos.

Se recomienda no calificar el desarrollo del laboratorio en una primera instancia, sino que generar una actividad de experiencia de aprendizaje de manera voluntaria a un grupo de estudiantes que estén cursando la asignatura de “Gestión de producción y operaciones”. Esto, con la finalidad de medir la efectividad de la herramienta de aprendizaje, y el desenvolvimiento de los estudiantes con el software, en un ambiente protegido que no implique posibles evaluaciones.

Se espera que las propuestas de laboratorio tengan un alto impacto en el desarrollo de la motivación de aprendizaje de los estudiantes. Mas aún, que estos permitan generar un mejor entendimiento de la materia vista en la asignatura de Gestión de Producción y Operaciones. Por lo tanto, se recomienda hacer un seguimiento constante de estas con la finalidad de discutir a nivel de departamento, implementar otras herramientas de aprendizaje mediante la metodología de simulación desarrollado en SIMIO u otro software que permita desarrollar competencias profesionales en distintas asignaturas de la malla curricular.

Por último, se recomienda desarrollar una asignatura electiva de simulación mediante eventos discretos para los estudiantes de ingeniería mecánica de la UTFSM. El desarrollo de los procesos productivos es mayor y, por consiguiente, hay más variables aleatorias que inciden sobre los resultados operacionales. Estudiar procesos productivos y de operaciones mediante SIMIO u otro software de eventos discretos, permitirá ampliar la gama de desarrollo integral en la formación universitaria del profesional de Ingeniería Mecánica.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. A. G. Garvs, Simulación dinámica del proceso de obtención de cobre de minerales sulfurados, Valparaíso, UTFSM, 2015.
- [2] W. D. Kelton, J. S. Smith, D. T. Sturrock y D. F. Muñoz, «Simio y simulación: MODELADO, ANÁLISIS, APLICACIONES,» Sewickley, 2012.
- [3] P. Gazmuri Sch., Modelos estocásticos para la gestión de sistemas, 1 edición ed., Santiago: EDICIONES UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE, 1995.
- [4] J. Allen Joines, S. Dean Roberts y F. J. Otamendi, Modelización y Simulación: Libro de prácticas con SIMIO, 1.1 ed., SIMIO L.L.C., 2010.
- [5] Á. García Sánchez y M. Ortega Mier, Introducción a la simulación de sistemas discretos, Sin ciudad: S.editorial, 2006.
- [6] A. N. Gámez, «Propuestas Conceptuales en torno a la Competencia Profesional,» *Revista de Educación*, n° 337, pp. 213-234, 2005.
- [7] M. Poblete y A. García Olalla, Desarrollo de competencias y créditos transferibles, Universidad de DEUSTO, 2007.
- [8] P. A. Osorio Villa, M. Ángel Franco y A. Franco Jaramillo, «El uso de simuladores educativos para el desarrollo de competencias en la formación universitaria de pregrado,» *Revista Q*, vol. 7, n° 13, p. 23, 2012.
- [9] O. Akkoyun, «New Simulation Tool for Teaching-Learning Processes in Engineering Education,» 28 January 2017. [En línea]. Available: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/cae.21807>.
- [10] D. Mourtzis, A. Vasilakopoulos, E. Zervas y N. Boli, «Manufacturing System Design using Simultaion in Metal Industry towards Education 4.0,» de *Learning Factories*, Patras; Greece, 2019.
- [11] L. Amaro López, P. Hernández González, A. Hernández Blas y L. Hernández Arzola, «La simulación clínica en la adquisición de conocimientos en estudiantes de la Licenciatura de Enfermería,» Instituto de Investigación sobre la Salud Pública, Universidad de la Sierra Sur, Miahuatlán de Pofirio Díaz, Oaxaca, México, 27 septiembre 2019.
- [12] I. Davidovitch, A. Parush y A. Shtub, «Simulation-based Learning in Engineering Education: Performance and Transfer in Learning Project Management,» *Journal of Engineering Education*, vol. 109, n° 1, p. 11, 2006.
- [13] UTFSM, Modelo educativo basado en competencias, Valparaíso, 2015.
- [14] D. d. I. Mecánica, Informe de autoevaluación, Valparaíso, 2017.
- [15] D. d. e. y. a. UTFSM, Competencias transversales sello - USM Modelo de evaluación, Valparaíso: UTFSM, S.F..
- [16] R. De la Vara Salazar y H. Gutiérrez Pulido, Control Estadístico de Calidad y Seis Sigma, México D.F.: McGraw Hill/Interamericana Editores, S.A. de C.V., 2009.

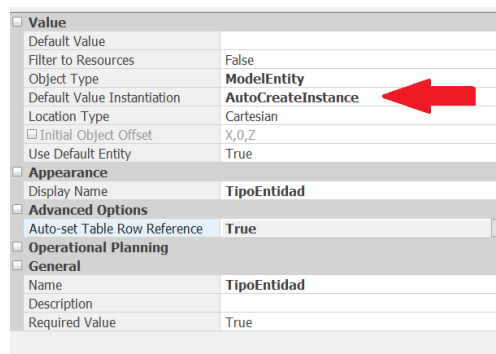
- [17] J. Heizer y B. Render, Dirección de la producción y de operaciones. Decisiones tácticas, 8ª ed., Madrid: Pearson Educación S.A., 2008.
- [18] L. Grasso, Encuestas: Elementos para su diseño y análisis, Córdoba: Encuentro grupo Editor, 2006.
- [19] A. Joshi, S. Kale, S. Chande y D. K. Pai, «Likert Scale: Explored and Explained,» *British Journal of Applied Science & Technology*, vol. 157, nº 1, p. 8, 2015.
- [20] R. A. E. (RAE), «Real Academia Española,» Real Academia Española, 2001. [En línea]. Available: <https://www.rae.es/drae2001/entendimiento>. [Último acceso: 4 mayo 2020].
- [21] J. Heizer y B. Render, Dirección de la producción y de operaciones. Decisiones estratégicas, 8º ed., Madrid: Pearson Educación S.A., 2007.
- [22] H. Gutiérrez Pulido y R. de la Vara Salazar, Control estadístico de calidad y seis sigma, México D.F.: 2da edición, 2009.

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1 Explicación de cada tabla utilizada en el laboratorio de producción	145
ANEXO 2: Descripción de las tareas de secuencia del objeto Máquina	153
ANEXO 3 Variables de estado escritas en proceso Excel para objeto Máquina y Operador	160

ANEXO 1 Explicación de cada tabla utilizada en el laboratorio de producción

En la Tabla 70 se presenta la descripción de la tabla Partes mencionada en la Figura 15. Cabe destacar que las entidades se crean automáticamente a partir del relleno de una nueva fila en la tabla. Esta acción se realiza a partir de las propiedades de la columna tipo entidad, tal y como lo muestra la Figura 51.



Value	
Default Value	
Filter to Resources	False
Object Type	ModelEntity
Default Value Instantiation	AutoCreateInstance
Location Type	Cartesian
☐ Initial Object Offset	X,0,Z
Use Default Entity	True
Appearance	
Display Name	TipoEntidad
Advanced Options	
Auto-set Table Row Reference	True
Operational Planning	
General	
Name	TipoEntidad
Description	
Required Value	True

Figura 51: Propiedades de la columna Tipo entidad.

Tabla 70: Descripción cada columna de la tabla Partes.

Nombre columna	Descripción
Tipo Entidad	Entidad que simula cada trabajo como producto terminado.
Mix	Porcentaje de participación que tiene cada uno de los trabajos terminados.
Current Symbol Index	Permite cambiar la animación de cada producto terminado al momento de iniciar la simulación.
X	Indica la posición geográfica en el eje X de la entidad.
Z	Indica la posición geográfica en el eje Z de la entidad.
Parámetro de calidad nominal	Valor nominal del parámetro de calidad de cada material.
Parámetro mínimo aceptado	Cota mínima impuesta por el usuario para el parámetro de calidad.
Parámetro máximo aceptado	Cota máxima impuesta por el usuario para el parámetro de calidad.

Tasa del parámetro de calidad	Expresión que indica el porcentaje de parámetro de calidad de material que se realiza al producto.
Tasa rechazo material	Expresión que indica el porcentaje de rechazo que sufre el producto.
Rechazo mínimo aceptado	Índice de comparación que señala el porcentaje de rechazo máximo que es posible aceptar para cada producto.

En la Tabla 71 se presenta la descripción de columnas para la tabla de secuencias. Cabe destacar que, para cada proceso de un producto determinado dentro de la secuencia, se le asigna un tiempo de setup, proceso y teardown.

Tabla 71: Descripción cada columna de la tabla Secuencia.

Nombre columna	Descripción
Tipo entidad	Entidad que simula cada trabajo como producto terminado.
Secuencia	Número de secuencia que corresponde para la creación de cada material.
Secuencia material	Objeto que se asigna para la secuencia determinada.
Setup	Tiempo de setup para cada trabajo asignado a la máquina de secuencia.
Tiempo Proceso	Tiempo de proceso para cada trabajo asignado a la máquina de secuencia.
Teardown	Tiempo de desarme para cada trabajo asignado a la máquina de secuencia.

En la Tabla 72 se presenta la descripción de columnas para la tabla de materiales. En la columna de costos, la divisa que se utiliza es pesos chilenos. Cada materia prima o producto terminado ingresado, se genera automáticamente de manera similar a lo muestra la Figura 51, relacionando cada costo a su respectivo material, junto con la cantidad inicial desde la tabla Inventario.

Tabla 72: Descripción cada columna de la tabla Materiales.

Nombre columna	Descripción
Nombre material	Nombre de cada material que se utiliza o se fabrica en el modelo de simulación.
Costo material	Costo asociado al uso de cada materia prima.

En la Tabla 73 se presenta la descripción de columnas en la tabla BOM. Es importante mencionar que el número de secuencia está relacionado con la tabla secuencias, y aborda el consumo o producción de cada material, ya sea materia prima o producto terminado.

Tabla 73: Descripción cada columna de la tabla BOM.

Nombre columna	Descripción
Numero secuencia	Número de secuencia que corresponde para la creación de cada material.
Estructura producto	Material que se utiliza en cada número de secuencia.
Cantidad requerida	Cantidad requerida de material en cada número de secuencia.
Material Use	Indica si el material es producido o consumido en cada número de secuencia.

En la Tabla 74 se presenta la descripción de la tabla Inventario. Esta tabla es necesaria para acceder al reaprovisionamiento de la materia prima utilizada. Por lo tanto, no es necesario incorporar los materiales de producto terminado dentro de esta tabla. Se sigue, el elemento monitor, de manera continua genera un seguimiento del consumo de materia prima con la variable de estado “*Inventario.NombreMaterial.QuantityInStock*”, esta es una variable de estado generada automáticamente por la materia prima al crearla.

Tabla 74: Descripción cada columna de la tabla Inventario.

Nombre columna	Descripción
Numero material	Número del material relacionado a la tabla.

Nombre material	Nombre de cada materia prima que se utiliza o se fabrica en el modelo de simulación.
Initial quantity	Cantidad inicial de la materia prima relacionada.
Punto pedido	Cantidad mínima admisible de materia prima antes de solicitar un reaprovisionamiento.
Cantidad ordenada	Cantidad ordenada en cada reaprovisionamiento de materia prima.
Monitor	Monitor encargado de realizar el seguimiento de cada materia prima.
Tiempo llegada	Tiempo que demora en llegar la materia prima al inventario digital de la materia prima.

La Tabla 75 presenta la descripción de las columnas de la tabla Objetos modelo. La columna Nombre objeto crea el objeto en específico de manera similar a como lo muestra la Figura 51, con la consideración que se referencia en la columna Object Type.

Tabla 75: Descripción cada columna de la tabla Objetos modelo.

Nombre columna	Descripción
Nombre objeto	Nombre del objeto que se crea en el modelo.
Numero maquina	Número relacionado a cada objeto creado. Se considera solo máquinas y operadores utilizados.
Object type	Clase de objeto creado (e.g., Server, operator).
Eje X	Indica la posición geográfica en el eje X de la entidad.
Eje Z	Indica la posición geográfica en el eje Z de la entidad.
Schedule	Programación de calendario que sigue cada objeto utilizado.
MTBF	Tiempo medio entre fallas para cada máquina.
MTTR	Tiempo medio para reparar para cada máquina.
Tasa eficiencia maquina	Eficiencia que entrega cada máquina.
Tasa de costo	Costo asociado al uso de la máquina por hora.
Operador home node	Nodo de trabajo para cada máquina o de descanso para el operador en caso de no estar trabajando.

Excel workbook	Dirección de la planilla Excel para resultados.
Excel worksheet	Hoja de la planilla Excel para los resultados.
Process	Proceso de escritura de los resultados por objeto.
Operator Selection Condition	Condición referenciada a cada máquina que indica que solamente puede elegir a los operadores que están capacitados para actuar en la máquina respectiva.
Process Operator	Proceso de asignación de datos para que relacione el número de orden al operador.

La Tabla 76 presenta la descripción de las columnas de tabla Nodos máquina. Se considera el uso de esta tabla solamente cuando se necesite generar procesos en paralelo, e.g., dos máquinas de corte. Para utilizar esto, es necesario definir una secuencia en la Tabla Secuencias a partir de un objeto llamado MyTransferNode, y no a partir de un objeto máquina en particular. Luego, la columna Nombre objeto que es FK, llama al nodo de transferencia que conecta los nodos internos de cada máquina que se quiere trabajar en paralelo (e.g., input@corte1 e input@corte2).

Tabla 76: Descripción cada columna de la tabla Nodos máquina.

Nombre columna	Descripción
Nombre objeto	Objeto que se asigna para la secuencia determinada.
Nodo	Nodo interno de cada máquina que se quiere trabajar en paralelo.

Se presenta la Tabla 77 que describe las columnas de la tabla Trabajos programados. Cabe mencionar que esta tabla posee una característica que no la poseen las anteriores tablas mencionadas: existen columnas que son “State variables” o variables de estado. Los valores de estas columnas se escriben a medida que pasan los órdenes de trabajo por el objeto despacho o en su defecto, sink a través de un proceso. Por lo tanto, no es necesario ingresar valores a estas columnas, en el inciso 0 se detalla el cómo se escriben los valores.

Tabla 77: Descripción cada columna de la tabla Trabajos programados.

Nombre columna		Descripción
Numero orden		String asociado a la orden en particular.
Nombre material		Entidad que simula cada trabajo como producto terminado.
Tipo trabajo		Indica si el trabajo es nuevo o es un WIP.
Fecha entrada taller		Fecha y hora que la entidad debe ingresar al taller.
Fecha Requerida taller		Fecha y hora solicitada para entregar la orden.
Cantidad requerida		Cantidad requerida para la orden.
Fecha despacho		Fecha y hora real de despacho de la orden.
Costo total		Costo total de la orden de producción.
Tasa rechazo material		Tasa de rechazo obtenida al final del proceso de manufactura.
Corte	Value	Ancho obtenido al final del proceso de corte.
	Status	Analiza si está dentro de los márgenes establecidos y señala si está dentro de estos.
Calidad	Value	Tasa de rechazo obtenida al final del proceso de manufactura.
	Status	Analiza si la tasa es superior o no a la tasa mínima de rechazo por calidad y señala si cumplió o no.

En la Tabla 78 se presenta la descripción de las columnas de la tabla operador. La tabla en particular está referenciada en cada operador que está presente en el modelo. Es importante mencionar que las columnas son dinámicas. Es decir, es necesario modificar el nombre de las columnas a medida que se integran o simplifican máquinas en el proceso. E.g., si existe una nueva máquina llamada Calidad, se debe ingresar una nueva columna llamada Calidad. Esta nueva columna, de propiedad Boolean, se ingresa bajo la ventana Schema – Columns property – Boolean.

Tabla 78: Descripción cada columna de la tabla Operador.

Nombre columna	Descripción
NumeroOperador	Indica el número de operador respectivo.
Operador	Nombre del operador respectivo. No es posible ingresar nuevos operadores si no están creados en la Tabla ObjetosModelo.
Rapidez	Parámetro de rapidez de desplazamiento de cada operador.
Eficiencia	Parámetro de eficiencia operacional de cada operador.
Corte	Expresión boolean (True o False) que indica si el operador está apto para trabajar en dicha máquina.
Impresión	Expresión boolean (True o False) que indica si el operador está apto para trabajar en dicha máquina.
Soldadura	Expresión boolean (True o False) que indica si el operador está apto para trabajar en dicha máquina.
Ensamblado	Expresión boolean (True o False) que indica si el operador está apto para trabajar en dicha máquina.
Prob Llegar tarde	Tasa de llegada tarde para cada inicio de turno.
TiempoTarde	Distribución de tiempo de llegada tarde para cada inicio de turno.

La Tabla 79 presenta la descripción de las columnas de la tabla WIP. En esta tabla, tabula cada trabajo WIP que está siendo procesado en alguna máquina al momento de iniciar la simulación de las órdenes de trabajo.

Tabla 79: Descripción cada columna de la tabla WIP.

Nombre columna	Descripción
Numero Orden	String asociado a la orden en particular.
Trabajo Actual	Secuencia de trabajo actual al proceso de orden WIP.
Fracción Restante	Porcentaje de avance en la secuencia actual de trabajo.
Costo Actual	Costo que lleva cada orden de producto al momento de la simulación.

ANEXO 2: Descripción de las tareas de secuencia del objeto Máquina

En la Tabla 80 se presenta el detalle de las tareas respecto al consumo. Es necesario mencionar que, según un condicional If, se compara si se consume o no material, y si la afirmación es correcta, se procede a consumir la cantidad requerida según la estructura del producto por la cantidad requerida de producto terminado. Se sigue, se asigna el costo del material utilizado según la variable de estado ModelEntity.Cost y se utiliza la misma lógica anteriormente mencionada, con la salvedad que se debe sumar al costo total de producción.

Tabla 80: Processing tasks de la secuencia Consumo.

Propiedad	Sección	Descripción
Sequence number	Task Information	10
Name	Task Information	Consumo
Action Type	Material requirements	BOM.MaterialUse
Material name	Material requirements	BOM.EstructuraProducto
Quantity	Material requirements	Math.If (BOM.MaterialUse == Enum.MaterialActionType.Consume, BOM.CantidadRequerida * TrabajosProgramados.CantidadRequerida, 0)
State variable name	State assignments	ModelEntity.Cost
New Value	State assignments	ModelEntity.Cost + Math.If(BOM.MaterialUse == Enum.MaterialActionType.Consume, BOM.CantidadRequerida * TrabajosProgramados.CantidadRequerida * Materiales.CostoMaterial, 0)

En la Tabla 81 se presenta la secuencia de trabajos para el Setup. Cabe mencionar que se pregunta por la variable de estado fracción restante del ModelEntity. Esta, si el valor es 1 y correspondiente a las nuevas órdenes de trabajo, se le asigna el tiempo requerido por setup según la tabla de secuencia y se le aplica el factor de la tasa de eficiencia de la máquina. Además, se le asigna un operador si así lo requiere el trabajo, dirigiéndolo hacia el nodo de trabajo solamente si el trabajador califica para trabajar en aquella máquina. Así, el tiempo de proceso se ve también afectado por la eficiencia del trabajador. Por último, señalar que este operador se solicita y libera inmediatamente esté disponible.

Tabla 81: Processing tasks de la secuencia Setup.

Propiedad	Sección	Descripción
Sequence number	Task Information	20
Name	Task Information	Setup
Processing Time	Task Information	Math.If(ModelEntity.FraccionRestante == 1, TrabajosProgramados.CantidadRequerida * Secuencia.Setup / (ObjetosModelo.TasaEficienciaMaquina*ModelEntity.EficienciaOperador), 0)
Object Type	Resource requirements	Select from List
Object list name	Resource requirements	Operador.Operador
Selection goal	Resource requirements	Largest value
Selection Expression	Resource requirements	Candidate.Operador.Eficiencia
Request Move	Resource requirements	To node

Destination Node	Resource requirements	ObjetosModelo.OperadorHomeNode
Selection condition	Resource requirements/Advanced options	ObjetosModelo.OperadorSelectionCondition
Immediately try to seize	Resource requirements/Advanced options	True
Immediately try to Allocate when released	Resource requirements/Advanced options	True

En la Tabla 82 se presenta la secuencia de trabajos para el Proceso. Se le asigna el tiempo de proceso según la tabla de secuencias por la cantidad requerida para el trabajo, y se considera la fracción de trabajo restante si el producto es WIP, y se considera el factor de la tasa de eficiencia de la máquina. Además, se le asigna un operador si así lo requiere el trabajo, dirigiéndolo hacia el nodo de trabajo solamente si el trabajador califica para trabajar en aquella máquina. Así, el tiempo de proceso se ve también afectado por la eficiencia del trabajador. Por último, señalar que este operador se solicita y libera inmediatamente esté disponible.

Tabla 82: Processing tasks para la secuencia Process.

Propiedad	Sección	Descripción
Sequence number	Task Information	30
Name	Task Information	Process
Processing Time	Task Information	$\text{Secuencia.TiempoProceso} * \text{TrabajosProgramados.CantidadRequerida} * \\ \text{ModelEntity.FraccionRestante} / \\ (\text{ObjetosModelo.TasaEficienciaMaquina} * \text{ModelEntity.EficienciaOperador})$
Object Type	Resource requirements	Select from List
Object list name	Resource requirements	Operador.Operador
Selection goal	Resource requirements	Largest value
Selection Expression	Resource requirements	Candidate.Operador.Eficiencia
Request Move	Resource requirements	To node
Destination Node	Resource requirements	ObjetosModelo.OperadorHomeNode
Selection condition	Resource requirements/Advanced options	ObjetosModelo.OperadorSelectionCondition
Immediately try to seize	Resource requirements/Advanced options	True

Immediately try to Allocate when released	Resource requirements/Advanced options	True
---	--	------

Se considera la misma descripción realizada para la secuencia de proceso, en la secuencia de Teardown tal y como lo muestra la Tabla 83 considerando el tiempo de teardown y no el de proceso.

Tabla 83: Processing tasks de la secuencia Teardown.

Propiedad	Sección	Descripción
Sequence number	Task Information	40
Name	Task Information	Teardown
Processing Time	Task Information	$\text{Secuencia.TearDown} * \text{TrabajosProgramados.CantidadRequerida} /$ $(\text{ObjetosModelo.TasaEficienciaMaquina} * \text{ModelEntity.EficienciaOperador})$
Object Type	Resource requirements	Select from List
Object list name	Resource requirements	Operador.Operador
Selection goal	Resource requirements	Largest value
Selection Expression	Resource requirements	Candidate.Operador.Eficiencia
Request Move	Resource requirements	To node
Destination Node	Resource requirements	ObjetosModelo.OperadorHomeNode

Selection condition	Resource requirements/Advanced options	ObjetosModelo.OperadorSelectionCondition
Immediately try to seize	Resource requirements/Advanced options	True
Immediately try to Allocate when released	Resource requirements/Advanced options	True

Por último, en la Tabla 84 se presenta la descripción de la secuencia Produce. Es necesario mencionar que, según un condicional If, se compara si se produce o no material, y si la afirmación es correcta, se procede a producir la cantidad requerida según la estructura del producto por la cantidad requerida de producto terminado.

Tabla 84: Processing tasks de la secuencia Produce.

Propiedad	Sección	Descripción
Sequence number	Task Information	50
Name	Task Information	Produce
Action Type	Material requirements	BOM.MaterialUse

Material name	Material requirements	BOM.EstructuraProducto
Quantity	Material requeriments	Math.If(BOM.MaterialUse == Enum.MaterialActionType.Produce, BOM.CantidadRequerida * TrabajosProgramados.CantidadRequerida, 0)

ANEXO 3 Variables de estado escritas en proceso Excel para objeto Máquina y Operador

Se presentan las tablas Tabla 85 y Tabla 86 para la asignación de variables de estado en los procesos de extracción de información para el objeto máquina y operador.

Tabla 85: Variables de salida para objeto máquina.

Variable salida	Descripción
Numero Orden	TrabajosProgramados.NumeroOrden
Nombre objeto	ObjetosModelo.NombreObjeto.Object.Name
Secuencia	Secuencia.Secuencia
Tiempo inicio proceso	TiempoInicioProceso[ObjetosModelo.NumeroMaquina]
Tiempo fin proceso	TiempoProceso[ObjetosModelo.NumeroMaquina]
Tiempo inicio falla	Math.If(ContadorFalla[ObjetosModelo.NumeroMaquina] == 1, TiempoInicioFalla[ObjetosModelo.NumeroMaquina], 0)
Tiempo fin falla	Math.If(ContadorFalla[ObjetosModelo.NumeroMaquina] == 1, TiempoFinFalla[ObjetosModelo.NumeroMaquina], 0)
Cantidad realizada	ModelEntity.CantidadRealizada[ModelEntity.NumeroMaquina]

Tabla 86: Variables de salida para objeto operador.

Variable salida	Descripción
Nombre operador	ObjetosModelo.NombreObjeto.Object.Name
Nombre máquina	ModelEntity.NombreMaquina[ModelEntity.NumeroMaquina]
Numero orden	ModelEntity.NumeroOrden[ModelEntity.NumeroMaquina]
Numero secuencia	ModelEntity.NumeroSecuencia[ModelEntity.NumeroMaquina]

Tiempo inicio proceso	TiempoInicioProceso[ObjetosModelo.NumeroMaquina]
Tiempo fin proceso	TiempoProceso[ObjetosModelo.NumeroMaquina]
Eficiencia operador	ModelEntity.EficienciaOperador
Estado trabajador	Math.If(ContadorAtraso[Operador.NumeroOperador] == 1, "Trabajador atrasado", "Trabajador a la hora")
Tiempo atraso	Math.If(ContadorAtraso[Operador.NumeroOperador] == 1, TiempoTarde, 0)