



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE CENTROAMERICANA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN FASE I**

**FORTALECIMIENTO DE CONCEPTOS LEAN MANUFACTURING A TRAVÉS DEL USO  
DE ESCENARIOS SIMULADOS EN FLEXSIM**

**PRESENTADO POR:**

**11741126 ALLAN ANTONIO FIGUEROA QUIROZ**

**ASESOR: ING. DANIEL MONTENEGRO**

**CAMPUS UNITEC TEGUCIGALPA: SEPTIEMBRE, 2020**

## RESUMEN EJECUTIVO (ESPAÑOL)

Actualmente la educación en Honduras está atravesando tiempos difíciles. Al igual que en otros países del mundo, Honduras se vio en la necesidad de suspender clases en todo el territorio debido a la pandemia del Covid-19. Esta investigación tuvo como objetivo investigar la viabilidad del uso de simulación con Flexsim para enseñar técnicas y herramientas de la temática Lean Manufacturing a estudiantes de la carrera de Ingeniería Industrial y de Sistemas.

Se inicio realizando una revisión de literatura para entender los conceptos a enseñarse, al igual que las distintas técnicas de enseñanza y aprendizaje aplicadas. Después de la revisión se determinó las técnicas y conceptos que se impartirían durante la investigación a los estudiantes voluntarios. Los conceptos elegidos fueron las 5s, Jidoka, SMED, Heijunka y Takt Time. Luego se procedió a crear los modelos de simulación que se utilizarían en las practicas. Se crearon un total de 11 modelos de simulación para 4 sesiones de prácticas. Se enseñó a dos grupos de 10 estudiantes. Un grupo con 2 sesiones de clases magistrales, otro con 4 sesiones de prácticas. Se elaboraron pruebas para medir y comparar el rendimiento de los estudiantes y los resultados se evaluaron con pruebas de hipótesis. En 2 de los 4 temas se encontró que los simuladores tuvieron un mayor impacto en las notas. En los otros dos temas los resultados fueron estadísticamente iguales.

Al finalizar las clases se elaboró un manual para ser revisado por un docente competente en el área. Al terminar el manual, los simuladores y el manual fueron evaluados por un docente. Los simuladores también fueron evaluados por los estudiantes que recibieron las practicas. Se aplicó una encuesta al docente y un total de 10 encuestas a los estudiantes. Las encuestas mostraron una perspectiva positiva por parte de los estudiantes y el docente.

## **RESUMEN EJECUTIVO (INGLES)**

Currently education in Honduras is facing tough times. Similar to other countries, Honduras found itself in the need to suspend classes in the country due to the pandemic caused by Covid-19. The objective for this research was to assess the viability using simulation with Flexsim to teach techniques and tools pertaining to Lean Manufacturing to students in Industrial and Systems Engineering.

It started with the review of literature to comprehend deeply the concepts that were to be taught, also the techniques to be used in the teaching process. After the review, the techniques, and concepts to be taught to the voluntary students were chosen. The ones chosen were 5s, Jidoka, SMED, Heijunka and Takt Time. Afterwards came the construction of the simulation models that were used in the practices. 11 models were created for 4 sessions of practices with the students. Two groups of 10 students participated in the research. One group received 2 sessions of normal classes; the other group received 4 sessions of practice with the simulation models. Quizzes were made to measure and compare the performance and the results were evaluated with hypothesis testing. Out of the 4 concepts chosen, in two those the simulators proved to be more effective than conventional classes. In the other two they proved to be just as effective

Once classes were finished, a manual or guide was made to be evaluated alongside the simulations. Once the guide was finished, the simulations and the guide were evaluated by the professor who gives the class in question. The simulations were also evaluated by the students who used them. One professor was surveyed and 10 students in total were surveyed. The surveys showed a positive perspective from the students and the professor.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>I.</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>II.</b>	<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	3
	2.1 PRECEDENTES DEL PROBLEMA	3
	2.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	4
	2.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	5
	2.4 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	6
	2.5 OBJETIVOS	6
	2.5.1 OBJETIVO GENERAL	6
	2.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
<b>III.</b>	<b>MARCO TEÓRICO</b>	7
	3.1 LEAN MANUFACTURING	7
	3.1.1 CONCEPTO	7
	3.1.2 FILOSOFÍA	7
	3.1.3 VALOR Y DESPERDICIO	8
	3.1.4 HERRAMIENTAS LEAN	9
	3.1.4.1 TAKT TIME	10
	3.1.4.2 SMED	10
	3.1.4.3 JIDOKA	10
	3.1.4.4 5s	10
	3.1.4.5 HEIJUNKA	11
	3.2 SIMULACIÓN	11
	3.2.1 DEFINICIÓN	11
	3.2.2 IMPORTANCIA DE LA SIMULACIÓN	12
	3.2.3 COMPONENTES DE LA SIMULACIÓN	13
	3.2.4 COMPONENTES DE LA SIMULACIÓN	14
	3.2.5 FLEXSIM	15
	3.2.5.1 ESTADOS Y EVENTOS	15
	3.3 ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE	16

3.3.1	TEORÍAS DE APRENDIZAJE .....	17
3.3.2	APRENDIZAJE CON SIMULADORES Y DEMÁS RECURSOS DIGITALES .....	18
3.3.2.1	EJEMPLOS DE SIMULADORES PARA ENSEÑAR .....	18
3.3.2.1.1	SIMPRO-IMS .....	18
3.3.2.1.2	MINECRAFT.....	19
3.3.2.1.3	SIMULACIÓN PARA MEJORAR HABILIDADES VISUALES-ESPACIALES .....	19
<b>3.4</b>	<b>ESTADÍSTICA .....</b>	<b>20</b>
3.4.1	ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA .....	21
3.4.2	ESTADÍSTICA INFERENCIAL .....	21
3.4.2.1	INFERENCIA ESTADÍSTICA .....	21
<b>IV.</b>	<b>METODOLOGÍA .....</b>	<b>24</b>
<b>4.1</b>	<b>ENFOQUE.....</b>	<b>24</b>
<b>4.2</b>	<b>VARIABLES DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>24</b>
<b>4.3</b>	<b>TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS.....</b>	<b>24</b>
4.3.1	TÉCNICAS.....	24
4.3.2	INSTRUMENTOS.....	25
<b>4.4</b>	<b>POBLACIÓN Y MUESTRA .....</b>	<b>25</b>
<b>4.5</b>	<b>METODOLOGÍA DE ESTUDIO .....</b>	<b>26</b>
<b>4.6</b>	<b>METODOLOGÍA DE VALIDACIÓN .....</b>	<b>28</b>
<b>4.7</b>	<b>CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES .....</b>	<b>29</b>
<b>V.</b>	<b>RESULTADOS Y ANÁLISIS.....</b>	<b>30</b>
<b>5.1</b>	<b>MODELOS DE SIMULACIÓN .....</b>	<b>30</b>
5.1.1	SIMULACIÓN DE LAS 5S .....	30
5.1.2	SIMULACIÓN DE JIDOKA .....	36
5.1.3	SIMULACIÓN DE SMED.....	40
5.1.4	SIMULACIÓN DE HEIJUNKA Y TAKT TIME .....	46
<b>5.2</b>	<b>MÉTODOS DE ENSEÑANZA APLICADOS EN LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>50</b>
5.2.1	CLASES MAGISTRALES .....	51
5.2.1.1	5S Y JIDOKA .....	51
5.2.1.2	SMED, HEIJUNKA Y TAKT TIME .....	52
5.2.2	PRACTICAS CON SIMULACIONES.....	53
5.2.2.1	5S.....	53
5.2.2.2	JIDOKA.....	55

5.2.2.3 SMED .....	56
5.2.2.4 HEIJUNKA Y TAKT TIME.....	57
<b>5.3 VALIDACIÓN ESTADÍSTICAS DE LA EFECTIVIDAD DE LOS SIMULADORES.....</b>	<b>60</b>
5.3.1 RESULTADOS DE LA PRUEBA PARA METODOLOGÍA 5S.....	61
5.3.2 RESULTADOS DE LA PRUEBA PARA JIDOKA .....	66
5.3.3 RESULTADOS DE LA PRUEBA PARA SMED.....	71
5.3.4 RESULTADOS DE LA PRUEBA PARA HEIJUNKA Y TAKT TIME .....	75
<b>5.4 VALIDACIÓN DE MODELOS DE SIMULACIÓN.....</b>	<b>80</b>
5.4.1 VALIDACIÓN POR OPINIÓN DE LOS ESTUDIANTES.....	80
5.4.2 VALIDACIÓN POR OPINIÓN DE DOCENTE .....	86
<b>VI. CONCLUSIONES.....</b>	<b>117</b>
<b>VII. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>118</b>
<b>VIII. APLICABILIDAD/IMPLEMENTACIÓN.....</b>	<b>119</b>
<b>IX. EVOLUCIÓN DE TRABAJO ACTUAL/TRABAJO FUTURO .....</b>	<b>120</b>
<b>X. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>121</b>

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1: Diagrama de Actividades.....</b>	<b>29</b>
<b>Ilustración 2: Modelo 5s-Etapa inicial.....</b>	<b>31</b>
<b>Ilustración 3: Modelo 5s-Estaciones de trabajo.....</b>	<b>31</b>
<b>Ilustración 4: Conexiones.....</b>	<b>32</b>
<b>Ilustración 5: Generación de desperdicio.....</b>	<b>33</b>
<b>Ilustración 6: Modelo 5s-Etapa 2 .....</b>	<b>34</b>
<b>Ilustración 7: Modelo 5s-Etapa 2 Seiton .....</b>	<b>35</b>
<b>Ilustración 8: Modelo 5s-Etapa Final.....</b>	<b>35</b>
<b>Ilustración 9: Ejemplos Seiketsu.....</b>	<b>36</b>
<b>Ilustración 10: Modelo Jidoka- Etapa Inicial.....</b>	<b>37</b>
<b>Ilustración 11: MTBF/MTTR .....</b>	<b>38</b>
<b>Ilustración 12: Modelo Jidoka- Etapa 2.....</b>	<b>39</b>
<b>Ilustración 13:Modelo Jidoka-Etapa Final .....</b>	<b>40</b>
<b>Ilustración 14: Modelo SMED-Etapa 0 .....</b>	<b>41</b>
<b>Ilustración 15: Asignación de etiquetas .....</b>	<b>42</b>
<b>Ilustración 16: Visual Text.....</b>	<b>42</b>
<b>Ilustración 17: Setup time % .....</b>	<b>43</b>
<b>Ilustración 18: Modelo SMED-Etapa 1 .....</b>	<b>45</b>
<b>Ilustración 19: Modelo SMED- Etapa Final .....</b>	<b>46</b>

<b>Ilustración 20: Modelo General Heijunka .....</b>	<b>47</b>
<b>Ilustración 21:Modelo Heijunka-Etapa 0 día 1 .....</b>	<b>48</b>
<b>Ilustración 22: Modelo Heijunka- Etapa 0 día 2 .....</b>	<b>48</b>
<b>Ilustración 23: Modelo Heijunka- Etapa 0 día 3 .....</b>	<b>48</b>
<b>Ilustración 24: Tiempo de proceso .....</b>	<b>49</b>
<b>Ilustración 25: Modelo Heijunka- Nivelación por tipo .....</b>	<b>49</b>
<b>Ilustración 26: Calendarización de sesiones .....</b>	<b>51</b>
<b>Ilustración 27: Caja y bigotes, 5s.....</b>	<b>63</b>
<b>Ilustración 28: Caja y bigotes, ejercicios de aplicación 5s.....</b>	<b>63</b>
<b>Ilustración 29: Caja y bigote, Jidoka .....</b>	<b>68</b>
<b>Ilustración 30: Caja y bigotes, ejercicios de aplicación, Jidoka .....</b>	<b>68</b>
<b>Ilustración 31: Caja y bigotes, SMED.....</b>	<b>72</b>
<b>Ilustración 32: Caja y bigotes, ejercicios de aplicación, SMED .....</b>	<b>73</b>
<b>Ilustración 33: Caja y bigotes, Heijunka .....</b>	<b>76</b>
<b>Ilustración 34: Caja y bigotes, ejercicios de aplicación, Heijunka.....</b>	<b>77</b>
<b>Ilustración 35: Pregunta 1 de encuesta de satisfacción.....</b>	<b>81</b>
<b>Ilustración 36: Pregunta 2 de encuesta de satisfacción.....</b>	<b>82</b>
<b>Ilustración 37: Pregunta 3 de encuesta de satisfacción.....</b>	<b>82</b>
<b>Ilustración 38: Pregunta 4 de encuesta de satisfacción.....</b>	<b>83</b>
<b>Ilustración 39: Pregunta 5 de encuesta de satisfacción.....</b>	<b>83</b>
<b>Ilustración 40: Pregunta 6 de encuesta de satisfacción.....</b>	<b>83</b>
<b>Ilustración 41: Pregunta 7 de encuesta de satisfacción.....</b>	<b>84</b>
<b>Ilustración 42: Pregunta 8 de encuesta de satisfacción.....</b>	<b>85</b>
<b>Ilustración 43: Pregunta 9 de encuesta de satisfacción.....</b>	<b>85</b>
<b>Ilustración 44: Pregunta 1 encuesta a docente .....</b>	<b>109</b>
<b>Ilustración 45: Pregunta 2 encuesta a docente .....</b>	<b>110</b>
<b>Ilustración 46: Pregunta 3 encuesta a docente .....</b>	<b>110</b>
<b>Ilustración 47: Pregunta 4 encuesta a docente .....</b>	<b>110</b>
<b>Ilustración 48: Pregunta 5 encuesta para docente .....</b>	<b>111</b>
<b>Ilustración 49: Pregunta 6 encuesta para docente .....</b>	<b>111</b>
<b>Ilustración 50: Pregunta 7 encuesta para docente .....</b>	<b>112</b>
<b>Ilustración 51: Pregunta 8 encuesta a docente .....</b>	<b>112</b>
<b>Ilustración 52: Pregunta 9 encuesta a docente .....</b>	<b>113</b>
<b>Ilustración 53: Pregunta 10 encuesta a docente .....</b>	<b>113</b>
<b>Ilustración 54: Pregunta 11 de encuesta a docente .....</b>	<b>114</b>
<b>Ilustración 55: Pregunta 12 de encuesta a docente .....</b>	<b>114</b>
<b>Ilustración 56: Pregunta 13 de encuesta a docente .....</b>	<b>114</b>
<b>Ilustración 57: Pregunta 14 de encuesta a docente .....</b>	<b>115</b>
<b>Ilustración 58: Pregunta 15 de encuesta a docente .....</b>	<b>115</b>
<b>Ilustración 59: Pregunta 16 de encuesta a docente .....</b>	<b>116</b>
<b>Ilustración 60: Parte 1 de Encuesta de satisfacción para los estudiantes .....</b>	<b>140</b>
<b>Ilustración 61: Parte 2 de Encuesta de satisfacción para los estudiantes .....</b>	<b>140</b>
<b>Ilustración 62: Parte 3 Encuesta de satisfacción para los estudiantes .....</b>	<b>141</b>

<b>Ilustración 63: Parte 4 Encuesta de satisfacción para los estudiantes</b> .....	141
<b>Ilustración 64: Parte 1 Encuesta a docente</b> .....	142
<b>Ilustración 65: Parte 2 Encuesta a docente</b> .....	142
<b>Ilustración 66: Parte 3 Encuesta a docente</b> .....	143
<b>Ilustración 67: Parte 4 Encuesta a docente</b> .....	143
<b>Ilustración 68: Parte 5 Encuesta a docente</b> .....	144
<b>Ilustración 69: Parte 6 Encuesta a docente</b> .....	144
<b>Ilustración 70: Parte 7 Encuesta a docente</b> .....	145

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1: Probabilidades de producto</b> .....	41
<b>Tabla 2: Porcentajes de producción</b> .....	50
<b>Tabla 3: Notas de los estudiantes en clase magistrales, 5s</b> .....	61
<b>Tabla 4: Notas de los estudiantes en prácticas, 5s</b> .....	62
<b>Tabla 5: Prueba f para notas de la prueba, 5s</b> .....	64
<b>Tabla 6: Prueba f para preguntas de aplicación, 5s</b> .....	64
<b>Tabla 7: Prueba de hipótesis para notas de la prueba, 5s</b> .....	65
<b>Tabla 8: Prueba de hipótesis para preguntas de aplicación, 5s</b> .....	66
<b>Tabla 9: Notas de los estudiantes en clases magistrales, Jidoka</b> .....	66
<b>Tabla 10: Notas de los estudiantes en prácticas, Jidoka</b> .....	67
<b>Tabla 11: Prueba f para notas de la prueba, Jidoka</b> .....	69
<b>Tabla 12: Prueba f para preguntas de aplicación, Jidoka</b> .....	69
<b>Tabla 13: Prueba de hipótesis para notas, Jidoka</b> .....	70
<b>Tabla 14: Prueba de hipótesis para preguntas de aplicación, Jidoka</b> .....	70
<b>Tabla 15: Notas de los estudiantes en clases magistrales, SMED</b> .....	71
<b>Tabla 16: Notas de los estudiantes en prácticas, SMED</b> .....	71
<b>Tabla 17: Prueba f para notas de la prueba, SMED</b> .....	73
<b>Tabla 18: Prueba f para preguntas de aplicación, SMED</b> .....	73
<b>Tabla 19: Prueba de hipótesis para notas, SMED</b> .....	74
<b>Tabla 20: Prueba de hipótesis para preguntas de aplicación, SMED</b> .....	74
<b>Tabla 21: Notas de los estudiantes en clases magistrales, Heijunka</b> .....	75
<b>Tabla 22: Notas de los estudiantes en prácticas, Heijunka</b> .....	76
<b>Tabla 23: Prueba f para notas de la prueba, Heijunka</b> .....	77
<b>Tabla 24: Prueba f para preguntas de aplicación, Heijunka</b> .....	78
<b>Tabla 25: Prueba de hipótesis para nota, Heijunka</b> .....	79
<b>Tabla 26: Prueba de hipótesis para preguntas de aplicación, Heijunka</b> .....	79

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1: Takt Time</b> .....	58
<b>Ecuación 2: Hipótesis nula para prueba de hipótesis</b> .....	65

<b>Ecuación 3: Hipótesis alternativa .....</b>	<b>65</b>
--	-----------

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

<b>Anexo 1: Prueba de conocimientos 5s.....</b>	<b>124</b>
<b>Anexo 2: Prueba de conocimientos Jidoka .....</b>	<b>130</b>
<b>Anexo 3: Prueba de conocimientos SMED.....</b>	<b>133</b>
<b>Anexo 4: Prueba de conocimientos Heijunka .....</b>	<b>137</b>
<b>Anexo 5: Encuesta de satisfacción para las prácticas de simulación .....</b>	<b>140</b>
<b>Anexo 6: Encuesta de opinión para docente.....</b>	<b>142</b>

## **LISTA DE SIGLAS**

SMED      Single Minute Exchange Die

MTBF      Mean Time Between Failures

MTTR      Mean Time To Repair

## I. INTRODUCCIÓN

A lo largo y ancho del mundo, las empresas luchan por conseguir una ventaja competitiva en contra de las demás empresas. El mundo de los negocios avanza cada vez más rápido, y la necesidad de ser una organización competente se vuelve cada vez más fuerte. Algunas empresas hallan gran fortaleza en sus productos o servicios, mientras otras lo encuentran en su administración. Al final del día todas buscan lo mismo, ser competitivos en un mundo que cambia constantemente.

Algo que se encuentra presente en casi todas las empresas líderes del mundo es una filosofía, la filosofía de lean manufacturing. Esta filosofía sirve de pilar en muchas empresas en el mundo, principalmente Toyota. La correcta implementación de esta filosofía da las herramientas necesarias para ser una organización competente en la economía global.

Esta es una temática que tiene mucha importancia en el mundo de los negocios. Un campo para el cual tiene aún más importancia es para la Ingeniería Industrial y de Sistemas. Actualmente en Unitec, en el plan de estudios de la carrera de Ingeniería Industrial y de Sistemas hay una clase llamada Sistemas de Mejoramiento de Operaciones, la cual está dedicada a esta temática.

Este trabajo de investigación tiene con objetivo ver si ciertas partes del contenido de la clase pueden ser abordadas de manera virtual utilizando la simulación. Debido a la situación que se vive es importante desarrollar nuevas formas para educar a los estudiantes de manera virtual. Al final de la investigación se espera poder concluir en cuanto a la efectividad de la simulación como herramienta para el aprendizaje de técnicas y herramientas de lean manufacturing.

Primero se presentará el planteamiento del problema. En esta sección se cubrirá los precedentes que llevaron a esta problemática y una breve descripción, la justificación para abordar este problema, las preguntas de investigación y los objetivos para la investigación como tal. La siguiente sección presenta en marco teórico, el cual consta de la recopilación de conocimiento previo a la investigación seguida por la metodología de

investigación. A continuación, se presentarán los resultados y análisis de la investigación. Las últimas secciones están destinadas a las conclusiones y recomendaciones.

## II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 2.1 PRECEDENTES DEL PROBLEMA

Actualmente se está viviendo a través de un momento en la historia que afectara el futuro de muchas sociedades del mundo. La pandemia provocada por el virus conocido como COVID-19. "Se llama pandemia a la propagación mundial de una nueva enfermedad."(OMS | *¿Qué es una pandemia?*, s. f.). El brote inicial de este virus se dio en la República Popular de China, según declaro la Organización Mundial de la Salud (OMS).

La OMS declaro:

La Oficina de la OMS en la República Popular China detecta una declaración de la Comisión Municipal de Salud de Wuhan para los medios de comunicación publicada en su sitio web en la que se mencionan casos de una «neumonía vírica» en Wuhan (República Popular China).

El 11 de marzo la OMS declararí que el Covid-19 es una pandemia. Seguida esta declaración, varios países alrededor del mundo procederían a tomar medidas más drásticas para contener el avance de la infección. Honduras sería uno de los países que tomaría acción una vez la declaración fuese hecha. El 12 de marzo del 2020, Arnaldo Bueso, ministro de la Secretaría de Educación de Honduras, declaro que las clases se estarían suspendiendo a partir del 13 de marzo. Esto incluía a instituciones de educación pública y privada de los niveles pre-básica, básica y media. El nivel de educación superior también suspendería clases a los pocos días después.

Hasta la fecha, 22 de julio de 2020, las instituciones educativas en Honduras siguen cerradas. Solo aquellas instituciones que cuentan con una plataforma digital han podido continuar dando clases a sus estudiantes. Aun con la modalidad virtual, la educación ha sufrido debido a distintas razones. Entre estas razones encontramos la necesidad de una conexión estable de internet, a la cual no toda la población tiene acceso. Otra es la ausencia de prácticas y talleres que requieren de un espacio físico para que se desarrollen.

El nivel de educación superior es el que sufre más debido a la segunda razón mencionada. El nivel de educación superior y de formación profesional requiere en

muchas ocasiones la presencia del estudiante al igual que del maestro para poder impartir el conocimiento. Carreras como ingeniería civil, ingeniería química, medicina, enfermería, entre otras, requieren que el estudiante participe en ciertas prácticas y talleres para que adquieran ciertos conocimientos. La pandemia vino a afectar muchos sectores del país, pero sin duda alguna, la educación ha sido uno de los más afectados por la mismas. La educación es un tema de suma importancia para todos los países en el mundo, pero de aun mayor importancia para países del tercer mundo como lo es Honduras.

En Unitec en la carrera de Ingeniería Industrial y de Sistemas se imparte una clase llamada Sistemas de Mejoramiento de Operaciones, la cual cuenta con una serie de prácticas de laboratorio para impartir algunos conocimientos. Estas prácticas de laboratorios se han visto comprometidas debido a la suspensión de clases a nivel nacional. En la situación actual no hay un sustituto para estas prácticas de laboratorio.

Se ha demostrado en estudios de pedagogía que el aprendizaje es mas efectivo cuando el estudiante realiza actividades para generar conocimientos. Las actividades practicas conforman una parte importante de formación profesional de los estudiantes en las universidades. Jean Piaget menciona en su trabajo "Psicología y Pedagogía" que existen distintas maneras de aprendizaje, y enfatiza lo importante que es emplear métodos activos en la enseñanza (Piaget, s. f.). Al momento de formar profesionales que deberán aplicar sus conocimientos, los métodos activos obtienen una mayor relevancia que en otros niveles de educación.

## **2.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

La temática de lean manufacturing es de gran importancia para los profesionales en la carrera de Ingeniería Industrial y de Sistemas. Algunas de las herramientas y temas de lean manufacturing son difíciles de comprender únicamente con contenido teórico por lo que UNITEC cuenta con pequeñas prácticas de laboratorio para estos temas. Sin embargo, debido a la situación actual dichas prácticas son imposibles de realizarse. La temática sigue siendo impartida de manera virtual, pero sin el beneficio de las prácticas de laboratorio que ayudan a esclarecer dicha temática.

## **2.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA**

La educación en todos sus niveles son clave para la construcción de una mejor sociedad. Para que un país tenga esperanza de alzarse y obtener una posición competitiva en el mundo requiere que su sistema de educación funcione. La educación superior forma parte fundamental en la formación de nuevos negocios y desarrollo en una región. Las carreras de ingeniería y aquellas con conocimiento técnico profundo están íntimamente ligadas a las innovaciones en el mundo.

El World Economic Forum (WEF) define una serie de pilares con los cuales evalúa la competitividad de una economía. El WEF define 12 pilares en total, su sexto pilar es "Skills". Este pilar se centra en la educación de un país, así como las habilidades de la fuerza laboral, los obreros. Algunos de los indicadores que utilizan son los años promedio de educación al igual que las habilidades con las que un profesional graduado de la universidad cuenta.

Queda claro que la educación es vital para una economía fuerte. Sin embargo, la ingeniería juega un rol vital en una economía. El pilar 12 es capacidad de innovación, en el cual uno de los indicadores es la cantidad de investigación y desarrollo se lleva a cabo. Esta no es una categoría única de las ingenierías, pero si una con la que se está fuertemente ligada. La formación de profesionales, así como de ingenieros con las capacidades correctas es importante para que país haga que su economía prospere.

En Honduras no es claro si las empresas utilizan Lean en sus operaciones, no obstante, es claro que no todas operan con esta filosofía. Es importante que los ingenieros industriales y de sistemas conozcan y puedan aplicar esta filosofía. Los estudiantes que haya o estén cursando la clase de Sistemas de Mejoramiento de Operaciones bajo las condiciones actuales estarán menos preparados en el área de Lean.

Para que el país de Honduras prospere es necesario que todos sus profesionales estén lo mejor preparados. En el campo de la ingeniería, Lean es una temática muy importante al momento de hablar de competitividad económica. Que los estudiantes tengan una deficiencia en esta temática afecta no solo las competencias de los estudiantes, también afecta el impacto que estos potencialmente pueden tener en el campo que se decidan desenvolverse.

## **2.4 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN**

- ¿Es la simulación un método efectivo de enseñanza y/o reforzamiento de los conocimientos de Lean Manufacturing?
- ¿Cómo es el impacto que los simuladores tienen en la capacidad de aprendizaje de los estudiantes?
- ¿Cuál es la opinión de los estudiantes y docentes competentes hacia el uso de la simulación para enseñar temas de Lean Manufacturing?

## **2.5 OBJETIVOS**

### 2.5.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una metodología de enseñanza que permita la transmisión y/o fortalecimiento de conceptos y herramientas específicos de lean manufacturing en una modalidad de clases a distancia (virtual).

### 2.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar escenarios de simulación que representen de manera acertada los conceptos de Lean Manufacturing que se desean impartir.
- Medir el impacto que los modelos de simulación tienen en el aprendizaje de los estudiantes.
- Validar el método de enseñanza con los modelos de simulación, considerando la perspectiva de estudiantes y docentes competentes.

### III. MARCO TEÓRICO

#### 3.1 LEAN MANUFACTURING

##### 3.1.1 CONCEPTO

“Producción esbelta, también conocida como sistema de producción, Toyota quiere decir hacer más con menos” (Villaseñor Contreras & Galindo Cota, 2007).

Lean Manufacturing o manufactura esbelta es una filosofía que busca hacer más con menos tal, en busca de un incremento en la eficiencia de la producción y la reducción de los errores y los desperdicios.

##### 3.1.2 FILOSOFÍA

Para entender Lean Manufacturing hay que conocer dos conceptos japoneses que se encuentran en el corazón de esta filosofía:

- Genchi Genbutsu
- Kaizen

Las palabras genchi genbutsu se pueden traducir en ir y observar lo que está ocurriendo para entender la situación(Villaseñor Contreras & Galindo Cota, 2007). Esta práctica de prueba y error se encuentra en el corazón de Lean Manufacturing. La segunda palabra, kaizen, significa mejora continua. Las ideas de Edward Deming jugaron un rol en esta etapa de Lean Manufacturing, el consideraba que solo existían dos tipos de clientes para una empresa, los internos, que incluyen a los empleados de planta y demás personal necesario, y los externos que son aquellos que juegan una parte en el proceso mas no son parte de la empresa(Villaseñor Contreras & Galindo Cota, 2007).

Estas filosofías permiten que los empresarios creen un negocio de alto rendimiento y de alta competitividad. Lean Manufacturing requiere compromiso de todos aquellos involucrados en la empresa, por lo que se requiere un cambio de la cultura de trabajo. Las técnicas y herramientas de Lean Manufacturing no serán efectivas si la parte más importante de una organización, las personas, no han aceptado la filosofía. Con esto dicho, Lean Manufacturing es acerca de mejorar constantemente, es de incrementar el

valor de nuestros productos o servicios y de disminuir costos a través de buenas prácticas en nuestro lugar de trabajo.

### 3.1.3 VALOR Y DESPERDICIO

El propósito de toda organización con fines de lucro es generar ganancias, en otras palabras, generar dinero y rentabilidad en sus negocios. Lean Manufacturing es una filosofía de trabajo que tiene estos mismos objetivos en mente. A pesar de que la filosofía se llama manufactura esbelta, esta no aplica únicamente a la industria de producción. En el artículo "Framework of Training for Lean Service" (Haque & Chaudhuri, 2015) hacen énfasis en la diferencia entre aplicar la filosofía Lean en manufactura y servicio, aunque sea más intuitivo aplicar en la producción, aplicarla en servicios también es posible, solo requiere más trabajo (p.3).

Por lo mismo la filosofía Lean siempre busca como generar valor. En muchas ocasiones incrementar el valor está ligado a la reducción o a la eliminación de desperdicios en una línea de producción o en un área de servicios. Ambas alternativas son pilares de la filosofía Lean Manufacturing.

Es importante que signifiquen estos términos en el ámbito de los negocios, valor y desperdicio. En su trabajo "Lean Manufacturing: The When, The Where, The Who" (Iuga & Kifor, 2013) mencionan que el valor de un producto o de un servicio está atado a la percepción del cliente, en otras palabras, aquello por lo que se esté dispuesto a pagar (p.1). Esta definición de valor es consistente con lo que muchos autores consideran valor. En el libro "Lean Thinking Banish Waste And Create Wealth In Your Corporation" (Womack & Jones, 2003) afirman que el valor es determinado por los clientes, siendo más específico, el último cliente. El último cliente para los dos autores es aquel al final de la cadena de suministro, quien recibirá el producto o servicio. Con esto claro, es responsabilidad de la organización generar valor para sus clientes.

"Lean manufacturing aims to make what adds value apparent by eliminating everything else" (Yamamoto et al., 2019).

La línea anterior describe uno de los fundamentos de la filosofía Lean y hace énfasis en el otro concepto por definir, que es desperdicio. En el libro "The Machine That Changed The World" (Womack et al., 1990) recuentan algunas de las condiciones en las que

encontraba la empresa Toyota poco después de la Segunda Guerra Mundial. Toyota buscaba ser capaz de competir con empresas como Ford, pero debido a situaciones únicas que enfrentaban, fue claro que esta no era una solución. De aquí parte lo que se determina como un desperdicio, "muda" siendo la palabra japonesa que significa desperdicio.

Todo aquello que no agregue valor desde el punto de vista del cliente es desperdicio. (Yamamoto et al., 2019) mencionan que tres categorías mayores de desperdicios:

- Muda: desperdicio
- Mura: disparidad
- Muri: sobrecarga

De estas tres categorías mayores muda es dividida en 7 tipos de desperdicio:

- Transporte
- Tiempo de espera
- Sobre producción
- Defectos
- Inventario
- Movimiento
- Procesamiento excesivo

#### 3.1.4 HERRAMIENTAS LEAN

Lean cuenta con un conjunto de técnicas y herramientas que ayudan al cumplimiento de los objetivos de la filosofía. Cada de una de estas técnicas y herramientas apunta eliminar los desperdicios encontrados en los procesos o hacen que los problemas sean fáciles de identificar cuando ocurren. Algunas de estas herramientas o técnicas incluyen:

- Takt time
- Value Stream Map (VSM)
- Andon
- 5s
- Single minute exchange die (SMED)
- Balanceo de Lineas

- Jidoka
- Just in time (JIT)
- Kanban
- Heijunka
- Work in progress (WIP)

#### 3.1.4.1 TAKT TIME

(Kleim, 2019) define el takt time con una medida de tiempo para los procesos, la cual sirve para tener una idea del ritmo adecuado para una línea de producción o un proceso en el área de servicios. Esta métrica tiene mayor valor debido a la información relacionada con el cliente que esta brinda.

#### 3.1.4.2 SMED

SMED es una técnica para reducir el tiempo de cambio de troqueles en una máquina. Esto ayuda a que una maquina pueda producir una gran variedad de piezas y demás productos. Al reducir el tiempo que toma el cambio de los troqueles se abre la posibilidad de que el mismo operador haga el cambio (Lindo Salado Echeverría et al., 2015).

#### 3.1.4.3 JIDOKA

Jidoka se conoce como un proceso casi automático, pero aun retiene cierto toque humano (Lindo Salado Echeverría et al., 2015). Es importante que las personas siempre estén involucradas en los procesos para que puedan pensar en soluciones, por eso los procesos no se automatizan al cien por ciento. La idea detrás de jidoka es evitar que los problemas en cierta fase del proceso se extiendan o afecten a otras para de la cadena. Jidoka permite que cada proceso se detenga para solucionar sus problemas y de esta manera evitar que se presenten estos problemas más adelante en la cadena.

#### 3.1.4.4 5s

La metodología de las 5s's es fundamental para la implementación de Lean en un espacio de trabajo. En esencia, esta metodología busca conseguir espacios de trabajo mejor organizados, más ordenados y limpios, con el fin de eliminar desperdicios, como pérdida de tiempo buscando cosas o movimientos excesivos por objetos colocados en ubicaciones de transito de las personas (Lindo Salado Echeverría et al., 2015). Agregado

a esto, las 5s busca que estos cambios sean mantenidos a través del tiempo. Las 5s constan de 5 etapas:

- Seiri: significa clasificar
- Seiton: significa ordenar
- Seiso: significa limpiar
- Seiketsu: significa eliminar las fuentes de suciedad o desorden
- Shitsuke: significa la verificación del mantenimiento de los estándares impuestos en las fases anteriores.

#### 3.1.4.5 HEIJUNKA

Heijunka es una herramienta Lean que ha sido fundamental en el desarrollo de la compañía de automóviles Toyota. Heijunka tiene como fin reducir la variabilidad en la producción diaria. Esto lo logra tomando la demanda total y ajustándola al día a día en la planta o en las oficinas (Coleman & Vaghefi, 1994). De esta manera los operadores se sienten menos agobiados y presionados por los pedidos. Esto también ayuda a una planificación efectiva de como suplir la demanda.

En el mundo de la ingeniería, Lean es una filosofía que se busca implementar en todos los casos posibles. La idea de tener una cultura que promueve la mejora continua y elimina el miedo a los errores es muy llamativa. Lean no es una filosofía que se pueda implementar fácilmente, pero es una que vale el esfuerzo invertido para hacerlo. Las técnicas y herramientas que resaltaron en esta sección atacan ciertos problemas que son comunes. 5s, SMED y heijunka buscan la reducción de tiempos en todas las operaciones de una empresa. 5s y jidoka buscan la reducción de errores en los procesos. Por último, heijunka y takt time buscan el manejo eficiente del tiempo para una producción eficiente.

## 3.2 SIMULACIÓN

### 3.2.1 DEFINICIÓN

En el idioma español, la Real Academia Española define el verbo simular como "Representar algo, fingiendo o imitando lo que no es" (ASALE & RAE, s. f.). Con esto se puede deducir que una simulación es una representación o imitación de algo real. En el

ámbito profesional las simulaciones se han vuelto muy importante debido a las muchas ventajas que ofrecen.

Existen muchos tipos de simulación, sin embargo, el tipo de simulación que se utilizará en este estudio será la simulación de eventos discretos. Este tipo de simulación es definida por (García Dunna et al., 2006) como:

“conjunto de relaciones lógicas, matemáticas, y probabilísticas que integran el comportamiento de un sistema bajo estudio cuando se presenta un evento determinado”.(García Dunna et al., 2006)

Esto delimita el tipo de simulaciones de la que se habla a casos específicos que simulación con la intención de experimentar y analizar los efectos que distintos estímulos pueden tener en un sistema.

### 3.2.2 IMPORTANCIA DE LA SIMULACIÓN

En el trabajo de investigación (Chiquito Tumbaco & Suárez, 2015) la investigación realizada fue para determinar la viabilidad del uso de los simuladores como herramientas de enseñanza. En esta investigación en particular, simuladores de negocio. Este trabajo de investigación demuestra lo importantes que los simuladores sean han vuelta en la actualidad. El concluye lo siguiente en cuanto al uso de los simuladores de negocio:

“objetivo que con el paso de la investigación se fue ampliando llegando al punto de que se incluya un simulador de negocios en cada carrera y en diferentes semestres.” (Chiquito Tumbaco & Suárez, 2015)

Otro trabajo de investigación, “LOS SIMULADORES DE NEGOCIOS COMO ALTERNATIVA DE DESARROLLO EMPRESARIAL” demuestra que no solo tienen un valor grande en la enseñanza durante la educación superior, sino que también son de gran beneficio en el ámbito laboral. El estudio concluye que los simuladores presentas una gran oportunidad en la formación de profesionales, ya que ayuda a entrenar en la resolución de problemas, simulando factores de la vida real, como lo son los factores no controlables en una empresa, al igual que tiempo de entrega de resultados (Garzón Quiroz, 2012).

Es importante mencionar que no solo los simuladores de negocio han mostrado su validez en el campo laboral y educativo. Otro simulador que ha sido adoptado en ambos

campos es el simulador Flexsim. Mas adelante se verá a más detalle este simulador, pero cabe mencionar que este sirve para modelar eventos discretos.

En la sección introductoria del artículo científico de (Díaz et al., 2018) cuyo propósito es educar a los estudiantes de ingeniería en el uso de Flexsim, el autor menciona como escenarios de la vida real pueden ser vistos y estudiados a través de la simulación. Los autores del artículo comprenden la importancia del uso adecuado de un software de simulación.

Esta herramienta en particular es muy poderosa y útil no solo desde un punto de vista académico, pero también de un punto de vista profesional. Este artículo hace énfasis en la importancia del rol que juegan estos simuladores hoy en día en la carrera de ingeniería.

### 3.2.3 COMPONENTES DE LA SIMULACIÓN

Para entender cómo usar una simulación, es necesario listar y definir algunos elementos que conforman la simulación. García Dunna, García Reyes & Cardenas (2006) listan los siguientes elementos:

- Sistema
- Entidad
- Estado del sistema
- Evento
- Localizaciones
- Recursos
- Atributos
- Variables
- Reloj de simulación

El primero se define como un grupo de objetos que interactúan entre si formando un todo. El segundo se utiliza para describir los elementos que están ingresando al sistema. García Dunna, García Reyes & Cardenas (2006) afirman que estos elementos son lo que causan que el sistema cambie de estado. El estado del sistema se puede entender como la condición en la que el sistema se encuentra en un momento determinado de la

simulación. García Dunna, García Reyes & Cardenas (2006) definen un evento como cualquier cambio que ocurra en el estado del sistema.

Una localización en una simulación es cualquier punto dentro del espacio de simulación en la cual una entidad puede detenerse a ser transformada o esperar a ser transformada (García Dunna et al., 2006). Los recursos son las herramientas o maquinarias necesarias para llevar a cabo una operación, estos no deben ser confundido con las localizaciones, ya que sus funciones no son las mismas (García Dunna et al., 2006). Los atributos son particularidades que diferencian a las entidades.

Las variables son aquellos valores que se modifican durante una simulación ya sea por ecuaciones o por relaciones lógicas (García Dunna et al., 2006). Por último, tenemos el reloj de la simulación. Debido a que una simulación es una representación de un caso real, es necesario contar con un reloj para llevar el tiempo de la simulación. Su función es dar un marco temporal a la simulación y así tener una idea de lo que ocurre en el sistema a través del tiempo o en marcas de tiempo determinadas (García Dunna et al., 2006).

#### 3.2.4 COMPONENTES DE LA SIMULACIÓN

García Dunna, García Reyes & Cardenas (2006) plantean que existen varios modelos de simulación, lo cuales ellos emparejan dependiendo de sus características. Esos modelos son los siguientes:

- Modelos continuos y modelos discretos
- Modelos dinámicos y modelos estáticos
- Modelos determinísticos y probabilísticos

De estos modelos, interesa hablar de los modelos determinísticos y probabilísticos. El primero se define como un modelo en las cuales las relaciones de las variables del sistema se mantienen constante, en otras palabras, estos valores no cambian (García Dunna et al., 2006). El segundo modelo en su lugar utiliza distribuciones de probabilidad en las relaciones de las variables de sus modelos.

En un ambiente simulado, una persona es capaz de adquirir nuevas habilidades. Esto lo hace a través de la observación. También aprende a reaccionar a nuevas situaciones a

medida se presentan (Zgodavova & Bober, 2012). La línea anterior describe uno de los factores que hace tan llamativa la simulación, la posibilidad de práctica con escenarios basados en la realidad, sin la preocupación de las consecuencias.

### 3.2.5 FLEXSIM

Flexsim es una herramienta poderosa diseñada para asistir a los ingenieros y planificadores en la toma de decisiones. Esta herramienta ayuda a analizar y determinar cuáles son las mejores opciones en el diseño y operación de un sistema (Flexsim 3D Simulation Software User Manual, 2017). Esta es la definición que encontramos en el manual de usuarios del software Flexsim. Como la definición lo indica, esta es una herramienta que es empleada principalmente por ingenieros y planificadores. El término “planificadores” es bastante amplio, pero reducir a lo que son gerentes y administradores. Esta herramienta sirve para analizar casos de estudio particulares que son de interés para los usuarios. Esta herramienta puede ayudar a encontrar patrones de comportamiento, defectos, entre otras cosas, en un sistema.

El manual también describe de forma más técnica lo que es el software Flexsim. El manual lo describe como un simulador para eventos discretos. En Flexsim los eventos son los que marcan un cambio en el estado del sistema. Al ser discretos estos pueden ser analizados en el momento en los que dichos eventos ocurren. Debido a esto Flexsim cuenta con un reloj interno, con el cual se puede definir la cantidad de tiempo que se quiere que la simulación corra, y también ayuda a encontrar patrones en función del tiempo (*Flexsim 3D Simulation Software User Manual, 2017*).

#### 3.2.5.1 ESTADOS Y EVENTOS

Anteriormente se definió estado del sistema, sin embargo, los objetos dentro de una simulación pueden tener un estado asociado. Algunos de los estados en los que se pueden encontrar los objetos en una simulación son los siguientes según el Manual de Usuario de Flexsim (2017):

- Espera
- Ocupado
- Bloqueado
- Fuera de servicio

Estos estados describen en que condición se encuentran los objetos en la simulación. Estos objetos pueden ser entidades, localizaciones o recursos, y estos estados pueden aplicar a cada uno de ellos. Los primeros dos estados denotan si el objeto está realizando una acción o no. Si el objeto es una localización, el estado espera, denota que esta localización no puede ser usado a menos de que el recurso necesario esté presente, o que la entidad a ser procesada esté presente. En el caso del recurso, denota que espera que la entidad a ser procesada se presente. Para la entidad este estado denota, que actualmente, esta no puede ser procesada debido a que la localización o recurso se encuentran ocupados. El estado ocupado denota que actualmente una acción está siendo realizada en el objeto, por el objeto o con el objeto (*Flexsim 3D Simulation Software User Manual*, 2017).

Los siguientes dos estados están más relacionados con la programación que el usuario realice en los objetos. Tanto el estado de bloqueo como el estado de fuera de servicio son estados que el usuario induce, ya sea a través de funciones probabilísticas o determinísticas. Hay excepciones para estos estados, pero el estudio no hará énfasis en esas situaciones. El estado de bloqueo prohíbe que una entidad acceda a una localización. El siguiente estado sirve para simular ocurrencias reales en una planta como los son las averías o los tiempos de mantenimiento durante el día (*Flexsim 3D Simulation Software User Manual*, 2017).

Flexsim es un software de mucha utilidad, pero muy complejo y extenso, por lo que la manipulación efectiva de este requiere preparación y formación. No obstante, esta es una herramienta que expone cuan útiles, y en ciertos casos, necesarios se ha vuelto la simulación. La simulación ha impactado no solo el mundo de los negocios también ha impactado el mundo académico. A medida avance la tecnología, la simulación solo se volverá más importante

### **3.3 ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE**

La pedagogía tiene como objetivo crear los métodos y herramientas a usar en la formación de profesionales. Estos métodos y herramientas deben acercar al estudiante lo más posible a la realidad de su entorno laboral (Cabrerizo Diago et al., s. f.). Los procesos de formación profesional son de gran importancia para un país, debido a esto

el campo de la pedagogía debe ser tratado con cuidado y respeto. Un profesional formado de manera adecuado puede ser un gran recurso para su país. De la misma manera un profesional pobremente formado no será de utilidad para el campo en el que se desempeñe.

“El concepto de *habilidad* está estrechamente ligado al conocimiento práctico y a su aplicación a la realidad profesional.” (Cabrerizo Diago et al., s. f.)

La cita anterior explica desde un punto de vista pedagógico que es una habilidad. Es importante resaltar dos partes de la cita, conocimiento y su aplicación a la realidad. Los conocimientos por sí solo no tienen valor alguno si estos no son utilizados o aplicados de alguna manera. La manera en la que se adquieren estos conocimientos tiene un impacto en la comprensión, y subsecuente de aplicación de estos mismos.

En el ámbito profesional existe una amplia gama de habilidades que un individuo de poseer para tener éxito. Sin embargo, estas habilidades no siempre pueden ser transmitidas de la misma manera. Jean Piaget habla en su trabajo “Psicología y Pedagogía” de la evolución de la pedagogía y procede a categorizar los distintos métodos que se han aplicado durante los años (Piaget, s. f.). Piaget habla de cuatro métodos:

- Métodos receptivos (lecciones)
- Métodos Activos
- Métodos Intuitivos
- Los métodos programados y las máquinas de enseñar

El segundo y tercer método tienen un efecto importante en el aprendizaje de los estudiantes. Ambos requieren que el estudiante interactúe con su medio ambiente o con objetos. Cabe destacar que uno motiva y reta al estudiante a seguir aprendiendo (Activo), no trata específicamente de actividades manuales (Piaget, s. f.). En cambio, el otro (Intuitivo) hace que el estudiante adquiera conocimientos a través de sus acciones con los objetos. Lo importante son las acciones del estudiante, no los objetos o la recreación de un escenario (Piaget, s. f.).

### 3.3.1 TEORÍAS DE APRENDIZAJE

La enseñanza y el aprendizaje van de la mano, por lo tanto, así como existentes distintos métodos de enseñanza, existen distintas maneras de aprender que acompañan esos métodos. Es su trabajo "El avión de la muda: herramienta de apoyo a la enseñanza-aprendizaje práctico de la manufactura esbelta" Perez Rave hace referencia a tres teorías de aprendizaje (Perez Rave, 2011). Estas son las teorías:

- Aprendizaje constructivista
- Aprendizaje colaborativo
- Aprendizaje basado en problemas

Estas teorías ayudan a pintar un panorama más claro de como los estudiantes aprenden. El primero requiere que el estudiante interactúe con sus entornos. El segundo a la cooperación, a la integración para discutir y generar el conocimiento entre ellos. El último se basa en la resolución de problemas con múltiples soluciones o caminos a una solución (Perez Rave, 2011).

### 3.3.2 APRENDIZAJE CON SIMULADORES Y DEMÁS RECURSOS DIGITALES

El aprendizaje en las últimas décadas ha cambiado mucho a nivel de educación superior y profesional. Hay ciertas temáticas que resultan más factibles explicar a través del uso de simuladores. Los simuladores ofrecen la ventaja de experimentar con distintos escenarios sin tener los riesgos inherentes de la experimentación. Por esta razón los simuladores se han convertido en un recurso valioso para el aprendizaje.

#### 3.3.2.1 EJEMPLOS DE SIMULADORES PARA ENSEÑAR

##### 3.3.2.1.1 SIMPRO-IMS

SIMPRO-IMS es un simulador que deriva de una versión más antigua, SIMPOR-Q el cual se enfocaba en el manejo de la calidad en una empresa. La nueva versión, SIMPRO-IMS tiene como fundamento los estándares de normas de calidad como las normas ISO (Zgodavova & Bober, 2012).

Este simulador en particular coloca a un grupo de jugadores en un modelo de sistemas gerenciales ya seleccionado por el director de la simulación. Aquí los participantes deberán cumplir ciertos objetivos fijados por el simulador. Zgodavova & Bober (2012) mencionan estos objetivos entre otros:

- Experimentar con los procesos principales y de apoyo
- Experimentar con las entradas y salidas del proceso
- Definir y modelar los procesos del IMS (Integrated management system)
- Auditar el IMS

Todo esto permite que los participantes tengan una experiencia más cercana a la realidad y facilita la comprensión de la función de los IMS. SIMPRO-IMS no puede sustituir la experiencia ganada a través de situaciones reales, pero si puede ofrecer una base sólida sobre la cual construir, en especial para gente en entrenamiento.

#### 3.3.2.1.2 MINECRAFT

El siguiente es uno que puede resultar extraño la primera vez que se escucha, pero el videojuego, Minecraft, se ha vuelto una herramienta bastante útil y versátil en el mundo de la educación. Minecraft es un juego que emplea cubos en un espacio tridimensional y permite construir básicamente cualquier cosa que se le ocurra al jugador (Lindo Salado Echeverría et al., 2015). Debido a esto el juego fácilmente puede ser utilizado para simular una situación de la vida real. No solo es un medio visual, pero uno que permite que el jugador emplee su creatividad para solucionar problemas.

La metodología que el investigador siguió fue el siguiente. Se construyó una fábrica de pasteles de calabaza. En el juego se usan distintos recursos del juego para hacer los pasteles, sin embargo, la fábrica no cuenta con un orden. El escenario de simulación es para enseñar la aplicación de la metodología 5s y el valor que esta metodología tiene. Después de introducir la temática y los objetivos, se procede a aplicar paso por paso cada una de las s (Lindo Salado Echeverría et al., 2015).

Este pequeño escenario de simulación les permitió a los estudiantes entender dos cosas de mejor, que solo usando teoría. La primera es como se aplica esta técnica en un espacio industrial. Al hacer en vez escuchar o ver, esto ayuda a la comprensión de la técnica. La segunda es el impacto que esta técnica tiene, la cual se ve con cada paso que se aplica en la simulación.

#### 3.3.2.1.3 SIMULACIÓN PARA MEJORAR HABILIDADES VISUALES-ESPACIALES

Este experimento tuvo como objetivo ver si era factible desarrollar la habilidad espacial visual a través del uso de herramientas digitales. El estudio tomo a los estudiantes de la

carrera de ingeniería industrial en la Universidad de Burgos. Tomo a los estudiantes de dos años académicos distintos y se les realizó una prueba para medir sus conocimientos previos acerca del tema, los resultados se utilizaron para dividir a los estudiantes en dos grupos (Pedrosa et al., 2014).

Cada grupo procedió a realizar un total de tres prácticas, un grupo con prácticas manuales más tradicionales y el otro grupo realizó las prácticas con una herramienta digital llamada ILMAGE\_SV. Los resultados de las pruebas mostraron que ambos grupos incrementaron sus capacidades visuales espaciales (Pedrosa et al., 2014). Este estudio demuestra que la gama de aplicaciones para las simulaciones con ayuda de distintas tecnologías es efectiva y una manera viable de enseñar.

Uno de los atributos más importantes del ser humano es su capacidad cognitiva. Es por esto por lo que saber aprender, y saber enseñar son cuestiones tan importantes para las sociedades. Con el paso del tiempo, nuevas eras y nuevos conocimientos se desarrollan, y se vuelve más importante saber cómo transmitir exitosamente. Aprendizaje basado en problemas, aprender con simuladores, con juegos entre otras técnicas, solo son el resultado de años de innovación y de la creciente necesidad de adquirir conocimiento en las sociedades actuales tan competitivas.

### **3.4 ESTADÍSTICA**

La estadística es una herramienta matemática de suma importancia en el campo de la ciencia. Es de mucha utilidad en el campo de la ingeniería y es imprescindible en el campo de la investigación, ya que es a través de esta que se validan los resultados de los experimentos e investigaciones.

Triola (2004) define la estadística así: "colección de métodos para planear experimentos, obtener datos, y después organizar, resumir, presentar, analizar, interpretar y llegar a conclusiones basadas en los datos." (p.4)

La definición que el autor plantea pinta un panorama bastante claro en cuanto a la importancia de que tiene la estadística. Esta herramienta permite a quien la usa, determinar el mejor curso de acción previo a un experimento. De igual manera da los medios necesarios para validar las hipótesis planteadas en una investigación (Triola, 2004).

La estadística se puede separar en dos ramas principales:

- Estadística descriptiva
- Estadística inferencial

#### 3.4.1 ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA

La estadística descriptiva puede ser vista como los cimientos de la estadística como tal. La estadística descriptiva se enfoca en la recolección de datos y trato más básico de estos datos. Se encarga de organizar y resumir los datos de manera que facilita el uso de estos. De igual manera se encarga de la presentación de estos a través del uso de diversas herramientas (Walpole et al., 2007). En la estadística descriptiva encontramos las siguientes herramientas:

- Medidas de tendencia central
- Medidas de dispersión
- Frecuencias
- Gráficos

#### 3.4.2 ESTADÍSTICA INFERENCIAL

La estadística inferencial es muy distinta a la estadística descriptiva. Mientras la segunda se enfoca en recolección y análisis de datos, la primera se enfoca en utilizar esos datos para crear y probar hipótesis acerca de eventos que se ven afectados por la incertidumbre y la variabilidad (Walpole et al., 2007). La estadística inferencial le ha dado a los ingenieros y otros profesionales las herramientas necesarias para poder enfrentar situaciones impredecibles que se presentan en el campo laboral y científico.

##### 3.4.2.1 INFERENCIA ESTADÍSTICA

“La teoría de la inferencia estadística consiste en aquellos métodos por los que se realizan inferencias o generalizaciones acerca de una población.” (Walpole et al., 2007)

La inferencia estadística es lo que hace de la estadística una herramienta tan valiosa en el mundo de la ciencia y de los negocios. Esta brinda las herramientas para poder hacer conjeturas acerca de una población basándose en datos de una muestra de esa

población. Dependiendo del tamaño de la población, estudiar la población por completo puede resultar no posible o factible. Walpole (2007) divide esta en dos:

- Estimación
- Prueba de hipótesis

La estimación es utilizada cuando se quiere conocer el valor de una variable partiendo de los datos obtenidos de una muestra (Walpole et al., 2007). De cierta manera es una aproximación al valor real de algo, utilizando datos científicos. La estimación puede ser puntual o puede ser por intervalos. En la estimación por intervalos encontramos una técnica muy útil llamada los intervalos de confianza (Walpole et al., 2007).

Los intervalos de confianza utilizan un coeficiente  $\alpha$ , al complemento de este coeficiente se conoce como coeficiente de confianza (Walpole et al., 2007). Estos coeficientes son útiles debido a que no es difícil imaginar que distintas muestras de una población pueden ofrecer distintos datos referentes a la misma variable. Por esta razón los intervalos de confianza ofrecen un rango de datos en los cuales se infiere el dato real se encuentra.

“Una hipótesis estadísticas es una aseveración o conjetura con respecto a una o más poblaciones.” (Walpole et al., 2007)

Considerando la definición que Walpole da en su libro, podemos deducir que una prueba de hipótesis no es más que tratar de probar o refutar lo que una hipótesis dice a través del uso de datos científicos y procedimientos matemáticos. Cabe mencionar que a pesar de que la hipótesis se pone a prueba, la conclusión a la cual se llega nunca será cien por ciento segura, siempre habrá un grado de incertidumbre.

La probabilidad juega un papel en las pruebas de hipótesis. El rechazar una hipótesis no asegura que la hipótesis era falsa, solo que la muestra que se tomó no evidencio lo que la hipótesis decía. Lo contrario es igual de cierto, al momento de no rechazar una hipótesis (Walpole et al., 2007). Por esta razón es importante siempre tener presente que siempre existe una pequeña posibilidad de que lo contrario a lo probado sea cierto.

Las pruebas de hipótesis pueden ser realizadas sobre una sola muestra o sobre dos muestras. La primera tiene como objetivo evaluar una hipótesis contra un valor conocido de la población. La segunda tiene como objetivo ver si las muestras en cuestión son

distintas la una de la otra (Walpole et al., 2007). Walpole (2007) describe tres casos distintos en las pruebas de hipótesis de medias con dos muestras:

- Varianzas desconocidas pero iguales
- Varianzas desconocidas pero diferentes
- Observaciones Pareadas

El último caso suele utilizarse al momento de hacer una prueba de hipótesis comparando el mismo parámetro con la misma muestra, pero después de algún evento. Las observaciones pareadas son muy efectivas al momento de evaluar si un evento tuvo efecto alguna en la muestra estudiada (Walpole et al., 2007).

La prueba de hipótesis depende de las probabilidades, por lo que las distribuciones de probabilidad juegan un papel importante. Al momento de analizar una muestra de una población es necesario conocer la distribución con la cual trabaja esta muestra. La prueba de bondad de ajuste cumple esta función. La prueba de bondad de ajuste sirve para confirmar que una población sigue una distribución probabilística específica (Walpole et al., 2007).

La estadística es una gran herramienta para el campo de la investigación. Esta prueba se de gran utilidad inclusive en sus niveles más básicos como lo es la estadística descriptiva. Por mucho tiempo esta ha permitido a los científicos e ingenieros poder comprender, analizar e interpretar fenómenos que, de otra manera no se podrían comprender.

## **IV. METODOLOGÍA**

### **4.1 ENFOQUE**

En esta investigación se utilizó un enfoque mixto. El enfoque mixto según (Hernández Sampieri et al., 2014) es un enfoque que trata combinar aspectos de ambos enfoques, en busca de una investigación más rica. Este enfoque resulta útil cuando ninguno de los dos enfoques por sí solos son suficientes para la profundidad del tema a abordar.

Debido a la naturaleza de la temática y a la población a ser analizada, es necesario tomar en cuenta ambos enfoques. La validación de esta investigación consta de dos componentes, uno basado en la prueba de hipótesis y otro basado en la opinión de los estudiantes y del docente encargado de la clase de sistemas de mejoramiento de Operaciones en la carrera de Ingeniería Industrial y de Sistemas de Unitec.

La validación basada en el enfoque cualitativo también fue importante al momento de validarla desde el punto de vista de los estudiantes que participaron en la investigación. Debido a las diferencias de conocimiento que se presentaron, este enfoque es requerido. Estas diferencias son exploradas en la sección 4.4 Población y Muestra.

Esta investigación se llevó a cabo con un enfoque de estudio de caso. Este enfoque se caracteriza por la búsqueda de información y por el análisis de uno o más casos, según dicte la investigación. Por caso se refiere a cualquier evento, proceso o fenómeno que actualmente carece de información o investigaciones (Salvador, 2018).

### **4.2 VARIABLES DE INVESTIGACIÓN**

- Tiempo para completar practica con simulador.
- Tiempo para completar prueba de conocimiento y comprensión de temas.
- Calificación de prueba de conocimientos aplicada a los estudiantes.
- Satisfacción de los estudiantes hacia los escenarios simulados

### **4.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS**

#### **4.3.1 TÉCNICAS**

Esta investigación se enfoca en la enseñanza y aprendizaje de las técnicas y herramientas Lean. Con esto en mente, las técnicas se dividen entre aquellas que fueron impartidas hacia los estudiantes, y aquellas que se utilizaron para impartir dichas técnicas. En el primer grupo mencionado se encuentran las siguientes técnicas:

- 5s
- Jidoka
- Heijunka
- Single Minute Exchange Die (SMED)
- Takt Time

Técnicas para la enseñanza de conceptos Lean:

- Métodos de aprendizaje
  - Activo
  - Intuitivo
- Teorías de aprendizaje: Basado en Problemas
- Aprendizaje con simuladores
- Entrevista con Docente

#### 4.3.2 INSTRUMENTOS

- Flexsim, para la creación de las simulaciones
- Estadística, para la organización y análisis de datos.
- Prueba de conocimiento, para evaluar el antes y después del uso de los simuladores.
- Encuestas, para evaluar la satisfacción de los estudiantes.
- MS Excel para almacenar y trabajar con los datos estadísticos.

#### **4.4 POBLACIÓN Y MUESTRA**

En esta investigación se aplicó un muestreo por conveniencia. Este es un tipo de muestreo no probabilístico Y se usa para obtener muestras de fácil acceso. Debido a la dificultad de acceso a estudiantes voluntarios para la investigación se utilizó este tipo de muestreo. En cuanto a la población que se estudió, se definió de la siguiente manera:

Estudiantes de la carrera de Ingeniería Industrial y de Sistemas de Unitec Tegucigalpa que ya han cursado al menos una clase de carrera, mas no han cursado la clase de Sistemas de Mejoramiento de Operaciones.

Debido a la población que se decidió analizar, era necesario tener en mente ciertas características de la esta. Primero, que los estudiantes podían estar en diversas partes de la carrera, ya que no había seguridad de que todos hubiesen aprobado las mismas clases. El único requisito fue que los estudiantes ya hayan cursado al menos una clase de la carrera de Ingeniería Industrial y de Sistemas, sin embargo, no se especificó que clase. De igual manera la otra limitante fue que los estudiantes voluntarios no hayan cursado la clase de Sistemas de Mejoramiento de Operaciones.

Estas limitantes fueron escogidas para tener una población con más experiencia en la carrera. De igual manera se buscó individuos que aún no poseyeran el conocimiento que se les fue impartido a través de las practicas con las simulaciones. Con estas limitantes se buscó una población que se acercase los más posibles a los estudiantes que potencialmente cursaran la clase de Sistemas de Mejoramiento de Operaciones bajo el formato de clases a distancias.

El tamaño de la muestra fue de 20 estudiantes en total, los cuales fueron divididos en dos grupos de diez estudiantes cada grupo. Nuevamente esto se realizó de esta manera por conveniencia debido a la dificultad del acceso a voluntarios. Los grupos fueron distribuidos de acorde a la disponibilidad de tiempo del estudiante.

#### **4.5 METODOLOGÍA DE ESTUDIO**

Con la meta de desarrollar una alternativa a las prácticas de laboratorio de la clase Sistemas de Mejoramiento de Operaciones, la primera etapa fue la revisión de literatura. En esta etapa se indago para ver que otros casos existían en los que se aplicaran métodos alternos, con bases digitales para la enseñanza y fortalecimiento de conocimientos. Hubo especial atención con aquellos artículos que hicieran uso de la simulación o recursos similares.

Una vez terminada la primera etapa, se prosiguió con la entrevista al docente que imparte la clase. La entrevista fue para consultar que conceptos vistos en las prácticas de laboratorio interesaba cubrir en las simulaciones. La entrevista sirvió para determinar

cuáles de estas prácticas eran factibles replicar a través de la simulación. Ya habiendo determinado las practicas a simular, se procedió a la siguiente etapa.

La siguiente etapa consistió en dos partes. La primera parte fue la elaboración de las pruebas de competencias que se aplicarían a los estudiantes. Estas pruebas se aplicarían a los estudiantes de ambos grupos luego de que el tema en cuestión fuese impartido. La segunda parte fue la creación de los escenarios simulados con los que se fortalecería el dominio de los conceptos que los estudiantes ya habían aprendido. Se crearon múltiples simulaciones para cubrir las temáticas necesarias. Cada escenario consta de múltiples etapas las cuales fueron elaboradas para facilitar la transición de una parte de la practica a la siguiente.

La cuarta etapa fue impartir las clases magistrales o las prácticas con las simulaciones, dependiendo del grupo. En esta etapa se puso en práctica la utilidad de las simulaciones para enseñar a los estudiantes conocimientos nuevos de las técnicas ya mencionadas. Las practicas con el simulador incluyen una pequeña clase magistral, seguida por el uso de las simulaciones para afianzar los conceptos ya vistos. Las clases magistrales fueron lecciones sin recursos de simulación, sin embargo, fue una clase más profundo que la que se impartió a los estudiantes que recibieron las practicas con las simulaciones.

Una vez finalizada la etapa de enseñanza de nuevos conocimientos a ambos grupos, se procedió a aplicarles las pruebas de conocimientos. Con los resultados de ambas pruebas, se procedió a tabular y analizar los datos obtenidos. Los datos fueron analizados con una prueba de hipótesis de diferencia de medias de dos muestras para comprobar si existía diferencia entre ambos grupos en la media de las calificaciones.

Las encuestas de satisfacción serian aplicadas al poco tiempo de haber realizados las pruebas, para recaudar información en cuanto a la opinión de los estudiantes hacia las practicas. La última parte de la validación se realizó con los docentes competentes para obtener la opinión de personas con mayor grado de experiencia en el tema. Sus opiniones abarcaron el manual también.

Una vez validado el proyecto, se diseñó un manual para el uso adecuado de las simulaciones como herramienta didáctica. El manual es la recopilación de los que se hizo durante las practicas con los simuladores, al igual que mejoras que se podrían

implementar en el proceso. Con resultados ya analizados se procedió a crear las conclusiones del proyecto y las recomendaciones

#### **4.6 METODOLOGÍA DE VALIDACIÓN**

El uso de las simulaciones como herramientas para el fortalecimiento de los conceptos Lean fue validado en varias etapas. La validación fue con el uso de estadística inferencial, haciendo uso de la prueba de hipótesis con observaciones pareadas. Este método se escogió ya que se quería comparar el desempeño de los estudiantes que recibieron solo una clase magistral, y aquellos que recibieron la práctica con los simuladores.

La segunda parte de la validación se realizó a través de encuestas a los estudiantes. El objetivo de las encuestas fue obtener otra perspectiva acerca de las simulaciones. Una perspectiva más subjetiva, pero más personal por parte de los estudiantes. Como el estudiante se sintió con respecto a la práctica fue de gran importancia debido al papel que juega la impresión de un estudiante en una forma de enseñanza.

Finalmente, se validó con los docentes encargados de la clase de Sistemas de Mejoramiento de Operaciones, para tener la opinión de un experto en el tema. Se realizó una entrevista y se les aplicó una encuesta a cada docente para tener una imagen clara de su opinión y perspectiva.



Fuente: Elaboración Propia

## **V. RESULTADOS Y ANÁLISIS**

### **5.1 MODELOS DE SIMULACIÓN**

Para determinar la viabilidad de la simulación como herramienta de enseñanza se realizó una revisión literaria amplia. En diversos artículos citados en el marco teórico se referencian una variedad de artículos científicos que utilizan algún tipo de simulación para conferir a sus participantes nuevos conocimientos o reforzamiento de conocimientos ya adquiridos. Esta investigación se enfocó en el uso de Flexsim como software de simulación.

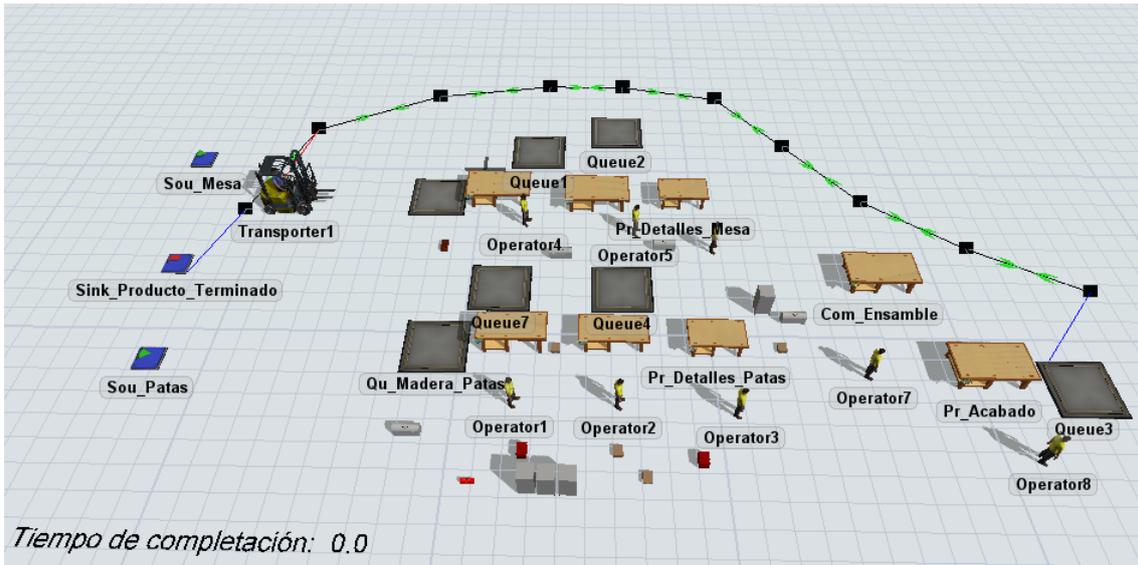
En la sección 4.3.1 Técnicas se establecieron las técnicas y herramientas de Lean Manufacturing que se enseñarían a través del uso de simuladores. Se generó escenarios de simulación para cada técnica y/o herramienta, a excepción de Heijunka y Takt Time, las cuales son cubiertas en el mismo escenario de simulación. Los escenarios de simulación son los siguientes:

- Escenario de simulación para 5s
- Escenario de simulación para Jidoka
- Escenario de simulación para SMED
- Escenario de simulación para Heijunka y Takt Time

Los tiempos utilizados en las operaciones de los recursos utilizados son determinísticos, ya que no se contaba con datos para generar distribuciones de probabilidad.

#### **5.1.1 SIMULACIÓN DE LAS 5S**

El primer modelo de simulación que se creó fue el de 5s. En este modelo se simula un taller de carpintería en el que se hacen mesas, en este escenario en particular solo se hacen 12 mesas en total. La simulación se lleva a cabo con 3 modelos distintos. El primer modelo se puede apreciar en la ilustración 2. En este modelo no se ha aplicado ninguno de los pasos de las 5s y se utiliza para introducir el escenario y las primeras 2 "s".

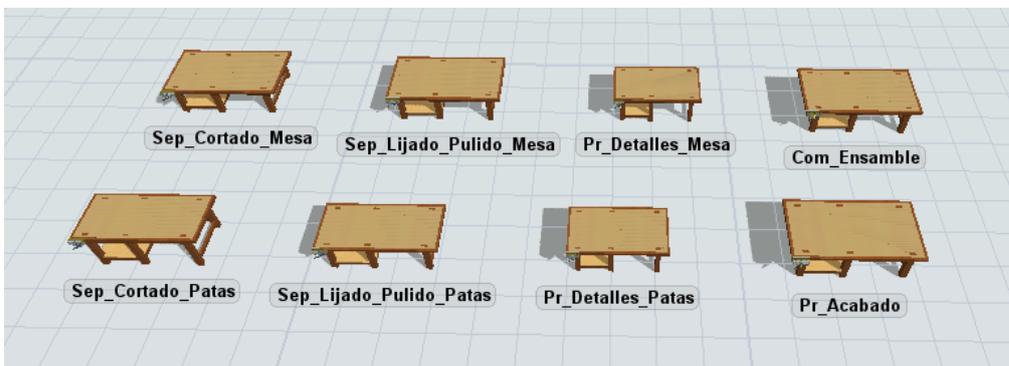


**Ilustración 2: Modelo 5s-Etapa inicial**

Fuente: Elaboración Propia

Para este modelo se utilizaron una serie de recursos disponibles en el software Flexsim. Entre los recursos utilizados se encuentran Sources, los cuales sirven para crear los objetos a usarse como materia prima, Sinks que sirven como destino final de esa materia, y los queue que almacenan la materia. Se emplearon combiner, processors y separators para simular las distintas estaciones del taller.

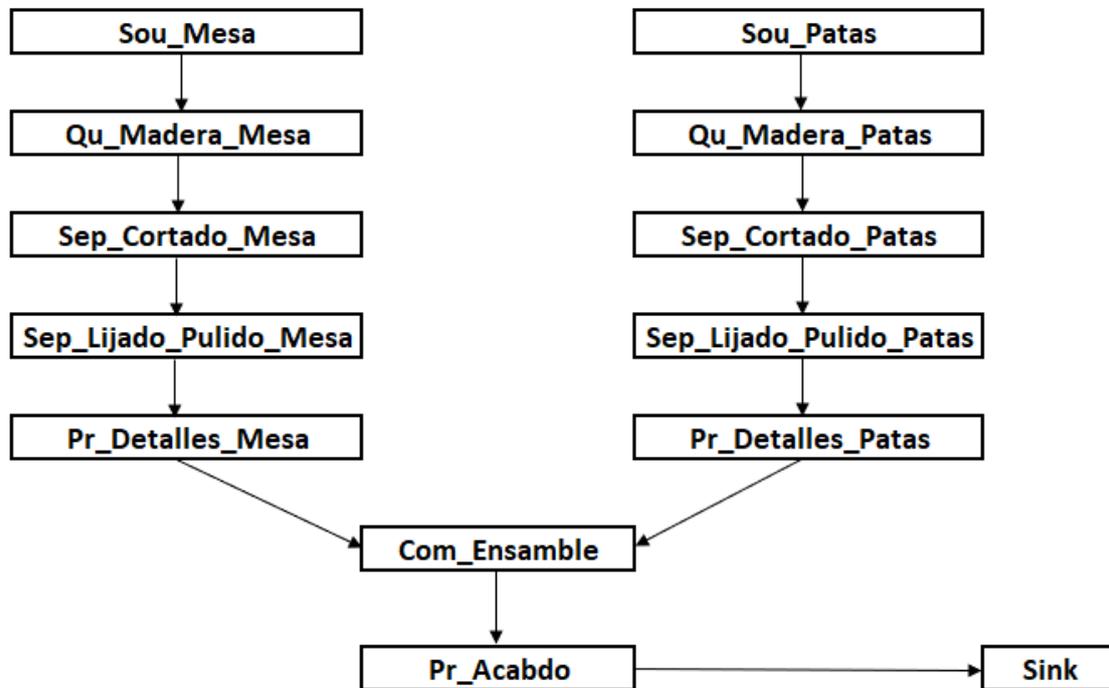
El taller de carpintería se diseñó con dos líneas de trabajo, una para las patas de la mesa, y la otra para la parte superior de la mesa. En la ilustración 3 se pueden observar las distintas estaciones de trabajo que se encuentran en las dos líneas de trabajo. Cada línea se diferencia por la etiqueta que se encuentra en el nombre. Estas etiquetas son \_Mesa, para una línea, y \_Patas para la otra línea. Ambas líneas llevan el producto a la estación de ensamble y esta lo lleva a la estación de acabado.



**Ilustración 3: Modelo 5s-Estaciones de trabajo**

Fuente: Elaboración Propia

Las conexiones entre las estaciones de trabajo siguen el orden que se observa en la ilustración 4:



**Ilustración 4: Conexiones**

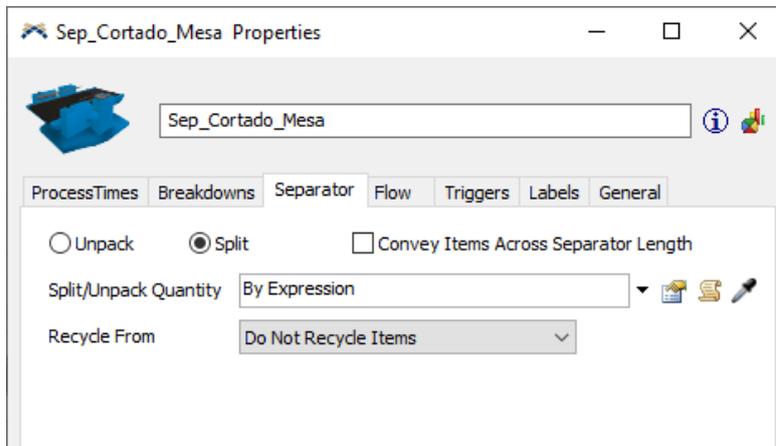
Fuente: Elaboración Propia

Las dos líneas de trabajo cuentan con las mismas estaciones de trabajo, y ambas convergen en la estación Com\_Ensamble. La última estación es Pr\_acabado, después de esta en producto ya está terminado y listo para ser transportado.

El nombre de cada estación de trabajo sigue una codificación para identificar cada una. La primera parte del nombre denota que tipo de recurso se está usando, la segunda la actividad que se realiza, y por último la línea a la que pertenece en caso de que aplique. Sep\_ indica que es un separador, Pr\_ indica que es un procesador y Com\_ indica que es un combinador.

En este modelo las primera dos estaciones de cada línea son separadores. Esas estaciones con cortado y luego lijado y pulido. Los separadores utilizan la función de Split en la viñeta de nombrada "Separator" en la ventana de propiedades del objeto. En la ilustración 4 se puede apreciar esto. Esta función se utilizó para simular la generación de

desperdicio en estas dos operaciones. Una copia se mueve a la siguiente estación mientras la otra se mueve al queue de desperdicio.



**Ilustración 5: Generación de desperdicio**

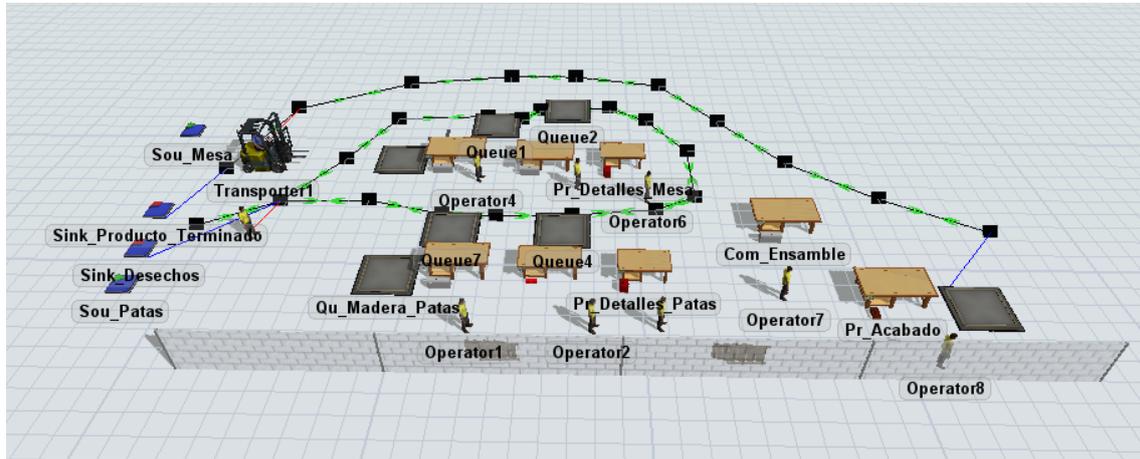
Fuente: Elaboración Propia

Los procesadores se encuentran en las estaciones de detalles y acabado ya que en estas estaciones no se necesitó de ninguna operación especial. Estas estaciones solo llevan a cabo su operación y pasan el producto a la siguiente estación. La estación de ensamble es un combinador ya que este objeto permite combinar dos objetos. Aquí se combinan las patas y parte superior de la mesa en una sola pieza.

En el modelo se colocaron una serie de objetos y acciones que cumplen con una función visual. Los operadores son los encargados de llevar a cabo las actividades de cada estación, así como mover el producto a la siguiente estación. Cada operador está conectado a través de una conexión de servicio. El vehículo que se observa en el modelo cumple la función de transportar el producto terminado hasta el sink que se encuentra en el lado izquierdo del del modelo. Finalmente, los nodos con flechas verdes marcan la ruta que el vehículo puede seguir. Esto se logró conectando el sink, el queue final y el vehículo a estos nodos.

En el siguiente modelo ya se ha discutido con los estudiantes acerca de la aplicación e importancia de las primeras dos "s". Por esta razón, en el segundo modelo ya se han efectuado cambios relacionados a los primeros dos pasos de la metodología. En este modelo se le discutió con los estudiantes los problemas que aún se observaban en el modelo y como estos afectaban el proceso.

Los cambios efectuados al primer modelo son únicamente relacionados a los objetos que se encuentran en el taller de carpintería. No se han realizado cambios a las estaciones de trabajo ni a las rutas utilizadas por los empleados. Este modelo se utilizó para enseñar a los estudiantes los siguientes dos pasos en la metodología. En la ilustración 6 se puede observar el estado del modelo después de efectuados los cambios.



**Ilustración 6: Modelo 5s-Etapa 2**

Fuente: Elaboración Propia

En esta etapa las conexiones permanecen mayormente de la misma manera, sin embargo, hay nuevos elementos en esta etapa. Se agrega un nuevo operador, el cual se puede observar a la par del vehículo de transporte. Se agregó una serie de nodos para servir como ruta de movimiento para el nuevo operador. Este operador tiene como función recoger los desperdicios que se encuentran en el sistema de operaciones.

Debido a que la función del operador es la limpieza de desperdicio, los nodos que marcan su ruta deben estar conectados a las estaciones que visitara. Estas estaciones son los queue's donde terminan los desperdicios de las primeras estaciones de trabajo. De igual manera se agregó un nuevo sink el cual también se conecta a los nodos. El nuevo sink sirve para tener la información de cantidad de desperdicio y de producto terminado separados.

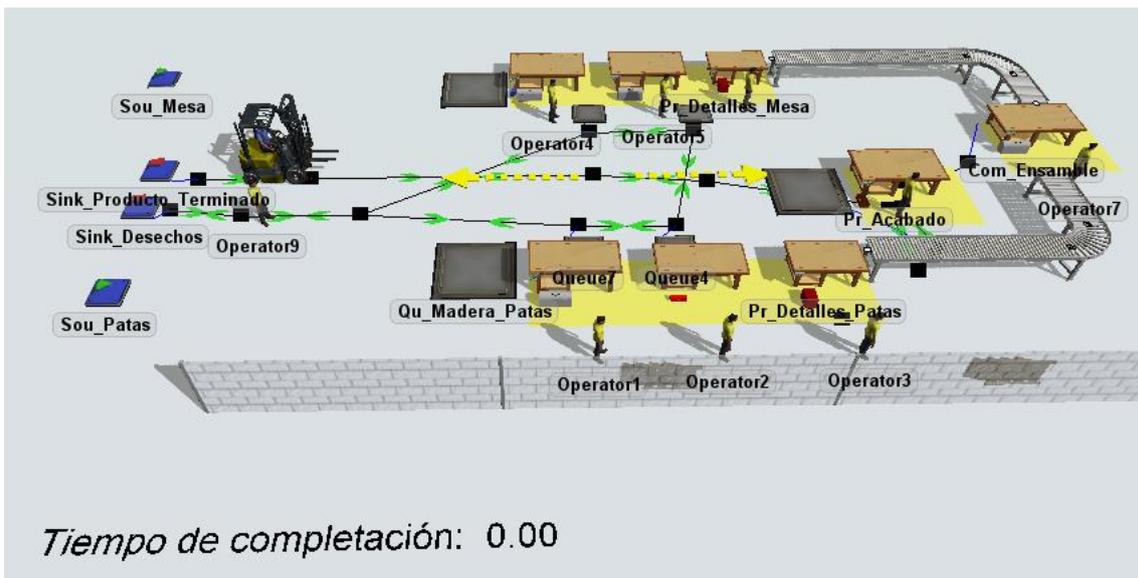
En la ilustración 7 se puede observar un objeto cuya apariencia fue modificada con el propósito de simular un toolboard. Este objeto se agregó como un aspecto visual que ayudara a la comprensión de la segunda s, Seiton. De manera similar se utilizan objetos con forma de caja de herramientas y demás objetos.



**Ilustración 7: Modelo 5s-Etapa 2 Seiton**

Fuente: Elaboración Propia

El último modelo de simulación ya tiene una serie de cambios realizados ya que, para este punto, ya se habrán cubierto 4 de los 5 pasos de las 5s. El último modelo se utilizó para mostrar los efectos de la implementación de todos los pasos anteriores. También ayudo con la función de explicar el último paso de la metodología. En la ilustración 8 se muestra el último modelo para la práctica de las 5s.

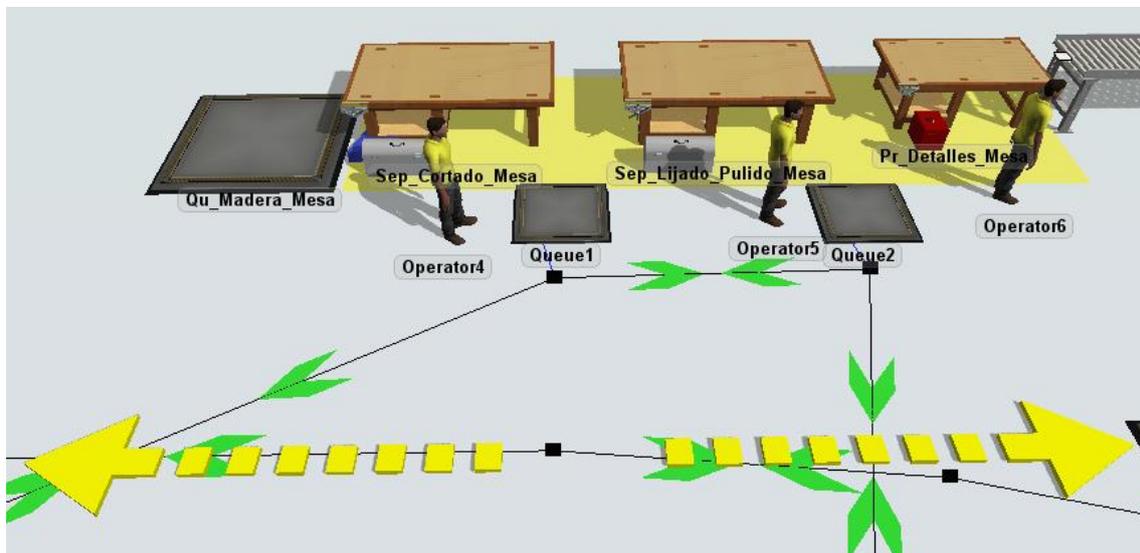


**Ilustración 8: Modelo 5s-Etapa Final**

Fuente: Elaboración Propia

Aquí se ha cambiado de manera drástica la manera en que funcionan las líneas de trabajo en su totalidad. En la ilustración 8 se puede observar que se agregaron conveyor belt o cintas transportadoras al final de las líneas individuales. Estas cintas se conectan a las estaciones Pr\_Detalles de cada línea y se encargan de llevar el producto hasta la estación Com\_Ensamble.

Las cintas al igual que algunos de los elementos que se pueden apreciar en la ilustración 9 son utilizados para enseñar la aplicación de la cuarta s, Seiketsu. En la ilustración se pueden observar dos flechas amarillas que denotan el área por el cual transitara el vehículo de carga. Los planos amarillos sirven para delimitar el área de trabajo asociado a cada estación de trabajo.



**Ilustración 9: Ejemplos Seiketsu**

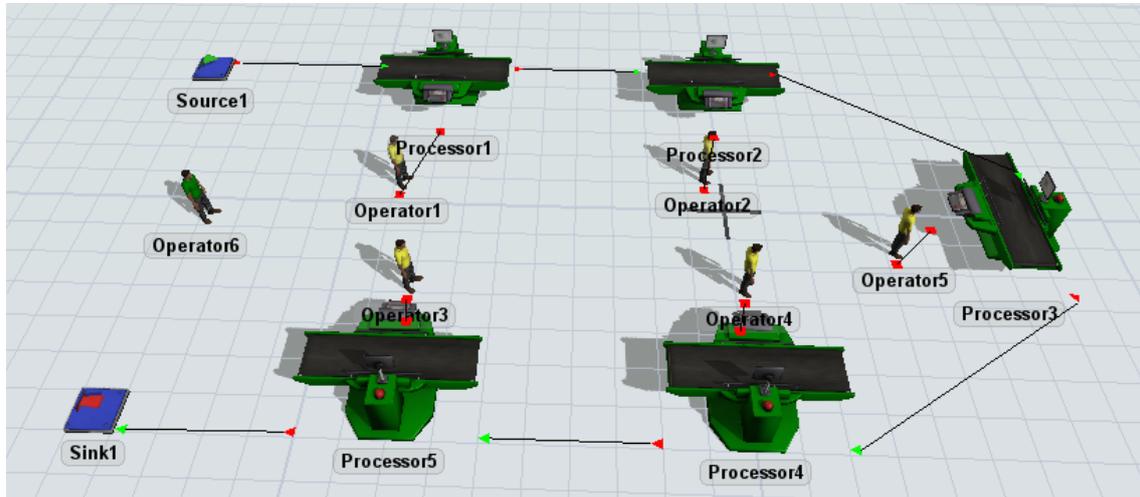
Fuente: Elaboración Propia

En cada uno de los modelos que representan las distintas etapas de la implementación de las 5s se encuentra un rotulo de texto. Este rotulo despliega el tiempo que le toma al sistema completar de procesar la materia prima que llega a la línea. Este escenario tiene como objetivo completar 12 mesas. El tiempo es un indicador para que los estudiantes puedan monitorear que en efecto hay un cambio en la efectividad del proceso.

### 5.1.2 SIMULACIÓN DE JIDOKA

El modelo de Jidoka busca impartir el conocimiento de la automatización con un toque humano. En este modelo se simula un sistema de producción que cuenta con 5

estaciones de trabajo, un source y un sink. Cada estación de trabajo cuenta con su operario y la planta cuenta con un supervisor. En la ilustración 10 se puede observar la etapa inicial de esta modelo de simulación.



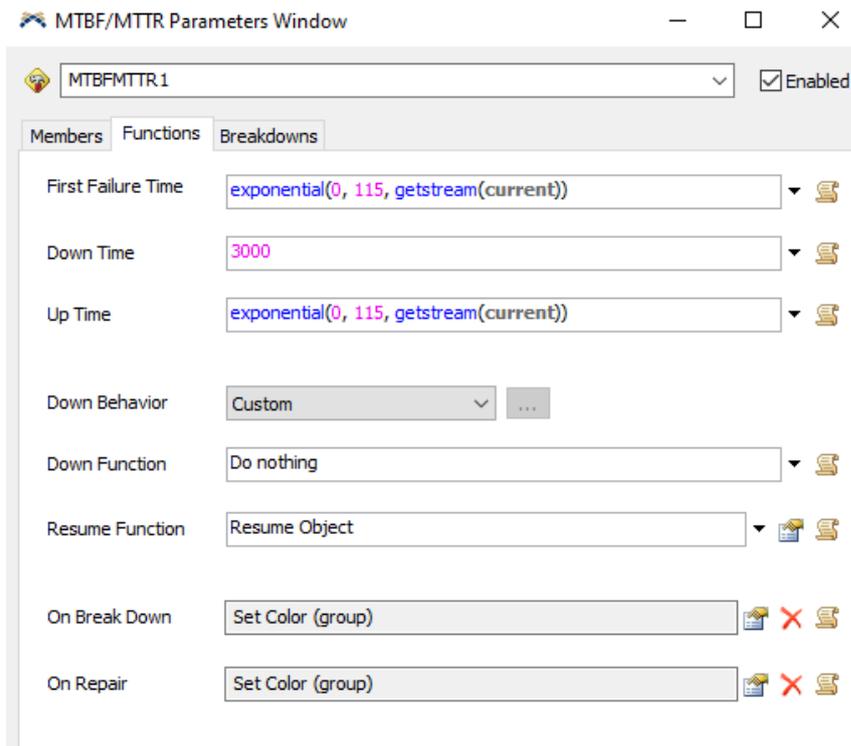
**Ilustración 10: Modelo Jidoka- Etapa Inicial**

Fuente: Elaboración Propia

En este modelo se aprecian claramente las conexiones de las estaciones de trabajo. La planta tiene una distribución en forma de U la cual inicia con el source que se encuentra en la esquina superior izquierda y finaliza en el sink que se encuentra en la esquina inferior izquierda.

En la etapa inicial se quiere mostrar lo que ocurre cuando no existe un buen sistema de control y no se cuenta con la implementación de Jidoka. En este modelo se hace uso de la herramienta disponible en Flexsim que simula fallas en el sistema. Esto lo hace a través de un MTBF/MTTR en el cual se puede colocar un tiempo determinado para que falle o distribuciones probabilísticas.

Los modelos utilizados para enseñar Jidoka son los únicos que utilizan funciones de distribución probabilísticas. Esto se hizo de esta manera para representar que los errores y las fallas en el sistema no siempre son completamente predecibles. En la ilustración 11 se puede observar la ventana para configurar dichas fallas.



**Ilustración 11: MTBF/MTTR**

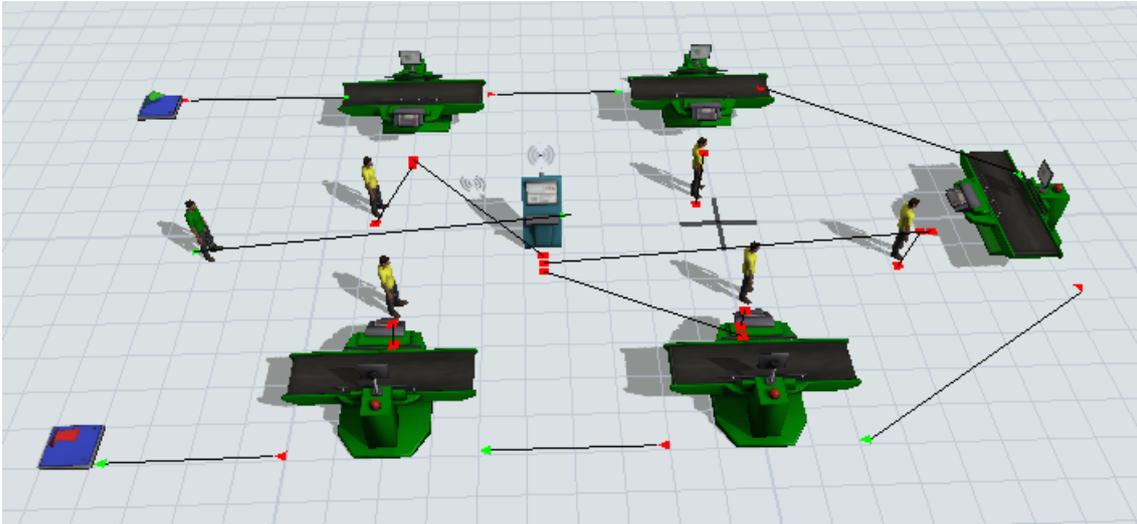
Fuente: Elaboración Propia

En la etapa inicial se han programado las fallas, mas no se ha programado una acción de paro para la línea de producción. Inicialmente los fallos ocurrirán mas no habrá cambio apreciable en el sistema. Esto simula una línea de producción que no está al tanto de que está teniendo problemas de producción. Cuando los estudiantes ya estaban familiarizados con la simulación, se aplicó un cambio al MTBF/MTTR, el cual fue, cambiar de color la estación cuando hubiera fallo. Este cambio brinda la oportunidad a los estudiantes de visualizar cuantas piezas defectuosas están siendo producidas.

Este modelo se creó para introducir la temática y dar una oportunidad de visualizar los riesgos de un mal control de calidad. El modelo sirve para empezar a hablar con los estudiantes de técnicas y herramientas que serán necesarias más adelante. Entre estas se menciona el Andon, o tablero con luces y el Poka Yoke, un objeto cuya función es evitar los errores.

Una vez cubierto los temas iniciales de Jidoka con el modelo anterior, se prosiguió con la siguiente etapa de los modelos. En la ilustración 12 se puede apreciar la segunda etapa de los modelos para enseñar Jidoka. En este modelo se ha agregado un dispatcher o un

despachador. Este objeto cumple una función técnica dentro del modelo y una función demostrativa para la práctica.



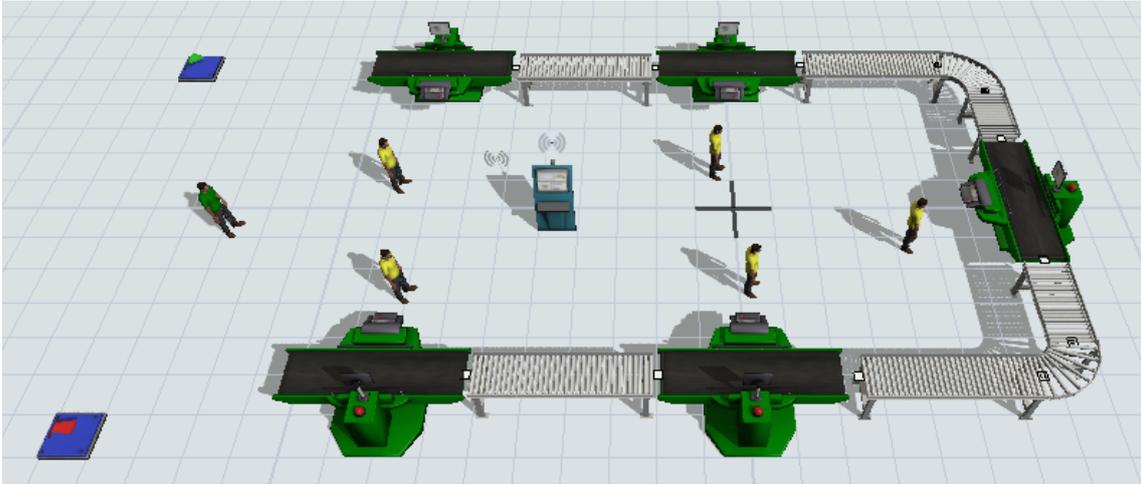
**Ilustración 12: Modelo Jidoka- Etapa 2**

Fuente: Elaboración Propia

El despachador está conectado al supervisor y a los operadores que están en máquinas que pueden sufrir fallos. En este caso esas máquinas son los procesadores 1, 3, y 4. El despachador sirve para llamar al supervisor y al operador correspondiente a la máquina que está averiada o generando fallos. Sin embargo, debido a limitaciones, el despachador cumplió la función de tablero Andon, ya que fue el encargado de notificar y llamar al supervisor cada vez que ocurría un fallo.

En esta etapa también se configuró en el MTBF/MTTR que ocurriera un cambio de color una vez empezaran los fallos, al igual que un cambio de color cuando el fallo fuese solucionado. Incluido, se configuró un paro en el proceso cuando se presentara un fallo. La reanudación de la operación solo se daría cuando el fallo fuese solucionado. Estos cambios se configuran en la ventana que se muestra en la ilustración 11.

En la última etapa de la implementación de Jidoka se agregaron cintas transportadoras a la línea de producción. Estas últimas se agregaron para eliminar la manipulación innecesaria de los objetos a medida que se mueven a través de la línea de producción. Al ser automatización con un toque humano, se decidió automatizar aquello que podía ser automatizado.



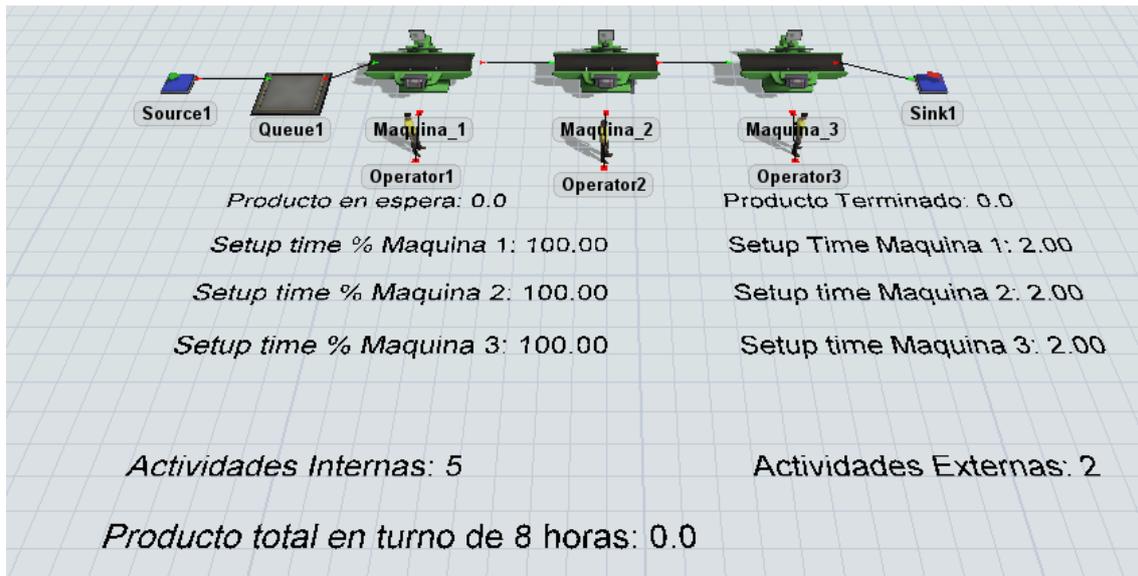
**Ilustración 13:Modelo Jidoka-Etapa Final**

Fuente: Elaboración Propia

Las cintas transportadoras están conectadas a las entradas y salidas de los procesadores que las utilizan. Únicamente la entrada del procesador 1 y la salida del procesador 5 no se encuentran conectadas a una cinta. Esto se modeló de esta manera ya que no se simula el movimiento del producto en estos puntos. El cambio de color y el paro de las máquinas se retuvo en la configuración de los MTBF/MTTR.

### 5.1.3 SIMULACIÓN DE SMED

El modelo de simulación de SMED tuvo un enfoque particular en los tiempos de preparación de los procesadores. En este modelo se trabaja con distintos tipos de producto, esto para poner en uso los tiempos de preparación. En la ilustración 14 se puede observar la manera en la que se encuentran distribuidos los recursos.



**Ilustración 14: Modelo SMED-Etapa 0**

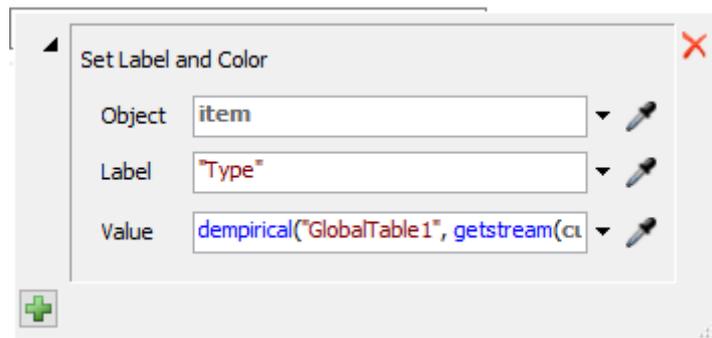
Fuente: Elaboración Propia

Este modelo cuenta con 3 procesadores, un source, un sink y un queue. El source genera las entidades a procesar con una distribución estadística exponencial y genera etiquetas para dichas entidades en la creación. Cada etiqueta es acompañada por un color, lo cual facilita la diferenciación de tipo de producto. La asignación de esas etiquetas se hace con una distribución empírica la cual sigue las probabilidades encontradas en la tabla 1. En la ilustración 15 se puede observar la ventana donde se configura la asignación de etiquetas y color.

**Tabla 1: Probabilidades de producto**

	Probabilidad	Tipo
Row 1	35	1
Row 2	33	2
Row 3	32	3

Fuente: Elaboración Propia



**Ilustración 15: Asignación de etiquetas**

Fuente: Elaboración Propia

El queue se colocó con el objetivo de proporcionar una manera fácil de visualizar el acumulamiento de materia esperando ser procesada, al igual que los distintos tipos de producto a ser producidos. Los tiempos de preparación y de operación de los procesadores son determinísticos. Los tiempos se mantienen constantes a lo largo del tiempo de simulación, que en este caso son 30 minutos o 1,800 segundos.

La ilustración 16 se enfoca en los visual texts que monitorean el rendimiento de la línea de producción.

<i>Producto en espera: 0.0</i>	Producto Terminado: 0.0
<i>Setup time % Maquina 1: 100.00</i>	Setup Time Maquina 1: 2.00
<i>Setup time % Maquina 2: 100.00</i>	Setup time Maquina 2: 2.00
<i>Setup time % Maquina 3: 100.00</i>	Setup time Maquina 3: 2.00
<i>Actividades Internas: 5</i>	Actividades Externas: 2
<i>Producto total en turno de 8 horas: 0.0</i>	

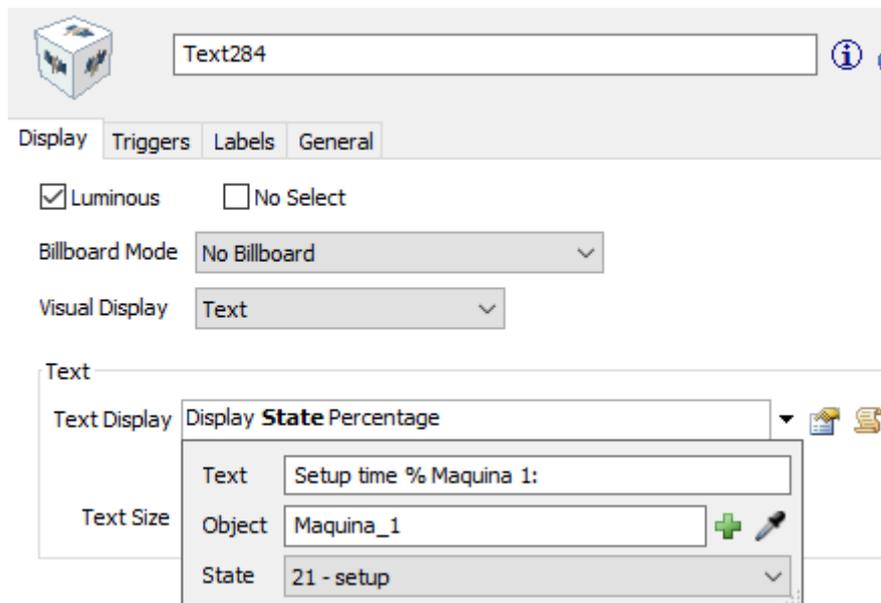
**Ilustración 16: Visual Text**

Fuente: Elaboración Propia

La información desplegada por estos textos sirve como indicadores de desempeño del proceso. De los textos desplegados, solo dos no son usados para monitorear el rendimiento del proceso. Los textos que dicen "Actividades Internas" y "Actividades Externas" tienen un valor fijo que no cambia durante la corrida de la simulación. Estos sí cambian a medida se cambia de una etapa de la simulación a la otra.

El resto de los textos despliegan información relevante al proceso. Los dos textos en la parte superior despliegan las cantidades de producto. El texto de producto en espera mantiene un conteo de los objetos que se encuentran en queue esperando ser procesados. Esto se logra a través del uso de "number labels" o etiquetas numéricas. Al entrar un objeto al queue una etiqueta aumenta en 1, al salir un objeto, otra etiqueta aumenta en 1. La resta de los valores de estas etiquetas brinda el valor de objetos que se encuentran en el queue. El producto terminado funciona de la misma manera, contabiliza los elementos que entran al sink.

Los textos a la izquierda que leen "Setup Time % Maquina #" dan el porcentaje del tiempo que determinado procesador pasa en tiempo de preparación. En la ilustración 17 se muestra cómo se configura estos textos:



**Ilustración 17: Setup time %**

Fuente: Elaboración Propia

Todos los textos que despliegan el porcentaje de tiempo utilizado en la preparación de la máquina se configuraron de la misma manera.

Los textos que leen "Setup Time" dan el tiempo total que un operador estuvo preparando el procesador o máquina. Este se obtuvo a través del uso de variables globales, la cuales se utilizaron para almacenar y calcular la información necesaria en los procesadores. El cambio en el tiempo se marcaba en la ocurrencia de tres eventos:

- Entrada de un elemento al procesador
- Salida de un elemento al procesador
- Fin de tiempo de preparación

Cada vez que uno de estos ocurre, el texto se actualiza, desplegando el potencial tiempo total de preparación.

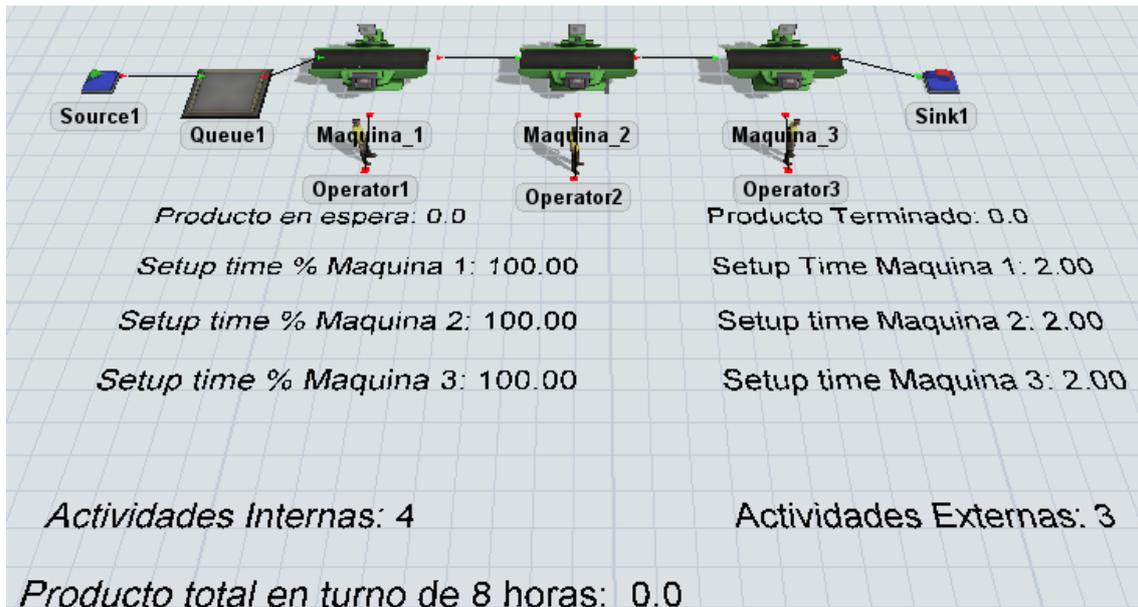
La configuración del texto como tal se realiza en la ventana de código del texto. Se selecciono desplegar el valor de una etiqueta y luego se ingresó al código del texto. De esta manera es posible que el texto lea la información almacenada en las variables globales. Se usaron un total de 3 variables globales:

- Setup\_Time
- ST2
- ST3

Cada una de estas corresponde a uno de los procesadores y monitorea el tiempo total de preparación de cada procesador.

El último texto la cantidad de producto que se lograría terminar en un turno de 8 horas. Debido a que el tiempo de duración de la corrida solo son 30 minutos, se utilizó una etiqueta para calcular la cantidad de producto terminado en el un turno completo. Este texto funciona como un indicador de desempeño del modelo.

En la segunda etapa del modelo se hace un cambio a dos de los textos visuales en la simulación. Se cambian los valores de actividades internas y actividades externas. En la ilustración 18 se puede apreciar el cambio en los valores.

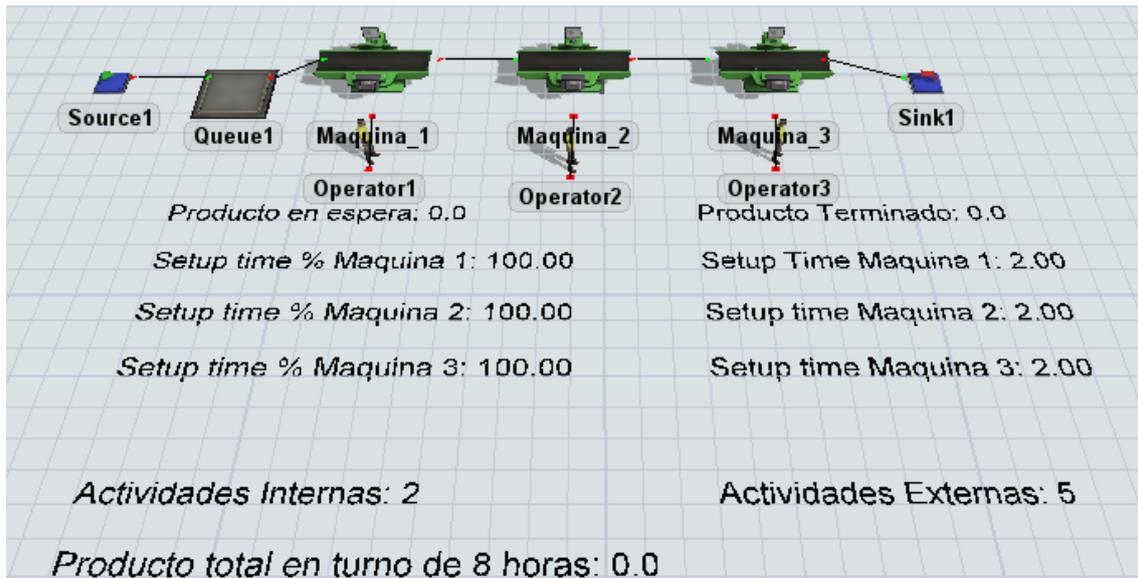


**Ilustración 18: Modelo SMED-Etapa 1**

Fuente: Elaboración Propia

Junto a este cambio se realiza otro más, en este caso es el tiempo de preparación. SMED es una técnica de que se utiliza para disminuir los tiempos de preparación de los equipos, principalmente a través de la revisión de las actividades que se realizan para hacer el cambio o preparación. El cambio en el tiempo de preparación tiene un impacto en todos los indicadores de desempeño que se determinaron en la primera etapa del modelo.

El funcionamiento y lógica detrás del modelo no cambia de una etapa a la otra, lo que cambia es el valor desplegado en los textos de las actividades. En la última etapa los valores cambian nuevamente, y con ello, cambia el tiempo de preparación también. El aspecto más importante en este simulador como herramienta de enseñanza se encuentra en los indicadores de desempeño. En la ilustración 19 se muestra la última etapa de este modelo de simulación.



**Ilustración 19: Modelo SMED- Etapa Final**

Fuente: Elaboración Propia

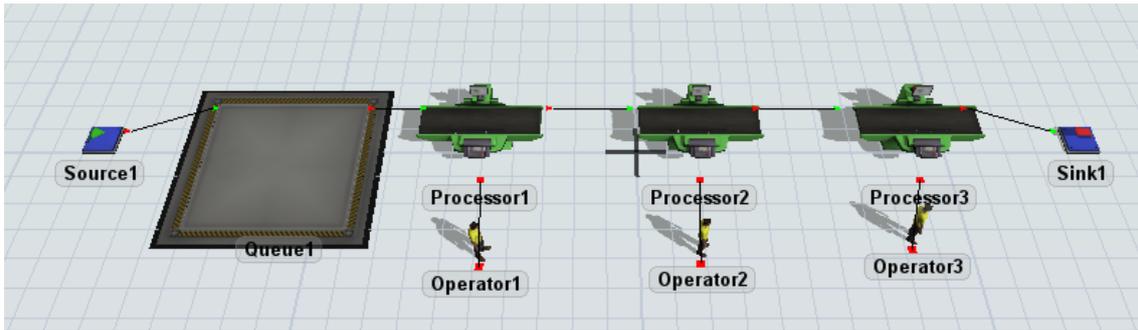
#### 5.1.4 SIMULACIÓN DE HEIJUNKA Y TAKT TIME

Este modelo de simulación requirió del conocimiento de más de una técnica o herramienta de Lean Manufacturing. Este escenario se enfocó en dos conceptos, Heijunka y Takt Time, sin embargo, se hace referencia a SMED también. Este fue el único modelo en cual se cubrió dos técnicas en el mismo escenario de simulación.

Este escenario de simulación cuenta con un enunciado con datos numéricos. Los datos son necesarios para explicar la función y la importancia de Takt Time, al igual que ciertos elementos de Heijunka. El enunciado se centra establece que se trata de una planta de producción que produce 3 tipos de accesorios. Con los datos se realiza una nivelación de producción por volumen y por tipo, y también se calcula el takt time.

Una vez determinado estos números se procedió a crear los modelos de simulación. En este escenario se crearon 4 modelos distintos. Los primeros 3 modelos son para una planta que no emplea Heijunka ni Takt Time en sus procesos. El modelo restante si emplea estas técnicas en sus procesos.

En la ilustración 20 se puede observar la distribución general que todos los modelos poseen.



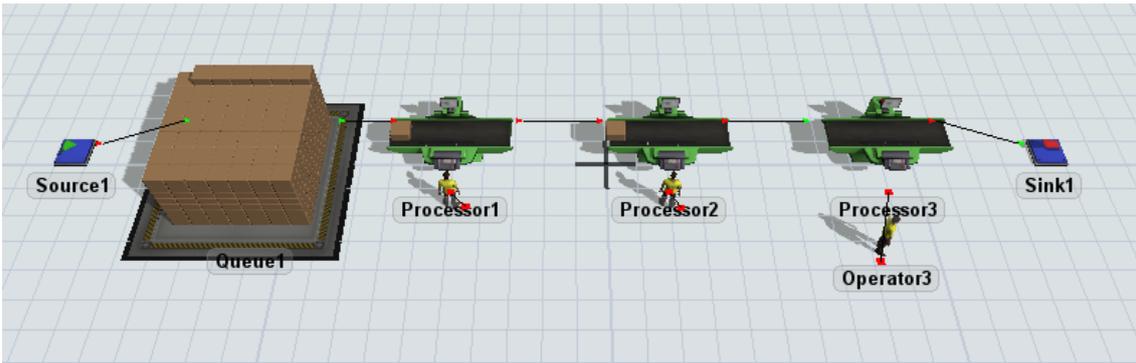
**Ilustración 20: Modelo General Heijunka**

Fuente: Elaboración Propia

El modelo cuenta con un source para la generación de las entidades que serán procesadas. Un queue de proporciones mayores, con el fin de poder observar todas las entidades a ser procesadas, así como los distintos tipos. Seguido se encuentran tres procesadores con sus respectivos operadores y por último el sink. Todos los modelos siguen este esquema básico, a excepción de uno que cuenta con dos sources. En los demás, lo que cambiara serán los tiempos al igual que la generación de entidades.

Los primeros tres modelos no trabajan con Takt time y tampoco siguen una nivelación de la producción. Por esta razón se hicieron tres modelos distintos, para simular 3 días de producción distintos. Cada día se sigue un plan de producción siguiendo los valores indicados en el enunciado.

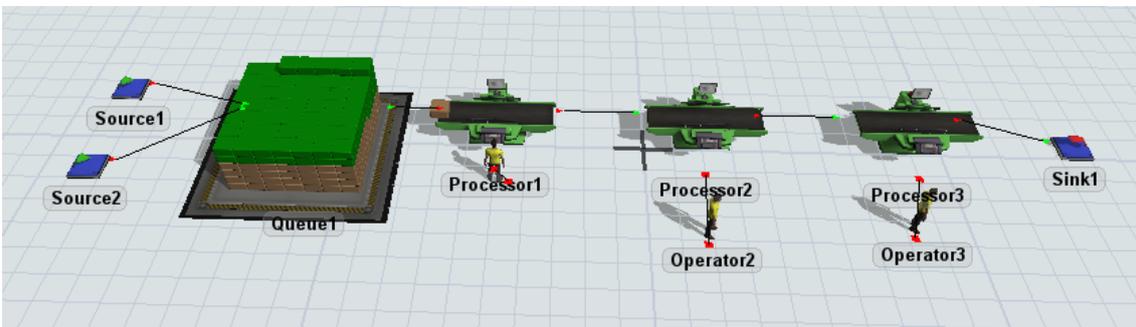
En la ilustración 21 se muestra como se ve la distribución de la producción. Se puede apreciar por los colores que solo se está trabajando un tipo de producto. En esta etapa no se ha llevado a cabo una nivelación de producción. Los tiempos de operación no están sometidos al cuello de botella tampoco, lo que significa que cada estación trabaja a su ritmo.



**Ilustración 21:Modelo Heijunka-Etapa 0 día 1**

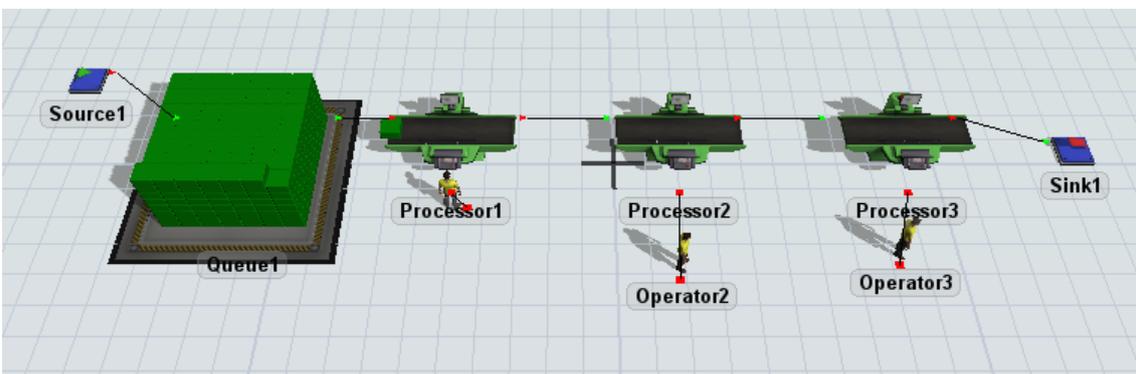
Fuente: Elaboración Propia

Esto produce una serie de problemas lo cuales son adrede, sirven para que los estudiantes tengan algo sobre lo cual reflexionar. En la ilustración 22 y 23 se muestran cómo se vería la producción para los siguientes dos días de producción. En la ilustración 22 también se puede apreciar que hay dos sources, esto es para generar los dos tipos de productos en cantidades exactas sin el uso de distribuciones probabilísticas. Cada uno de estos días trabaja con una cantidad de materia prima total distinta.



**Ilustración 22: Modelo Heijunka- Etapa 0 día 2**

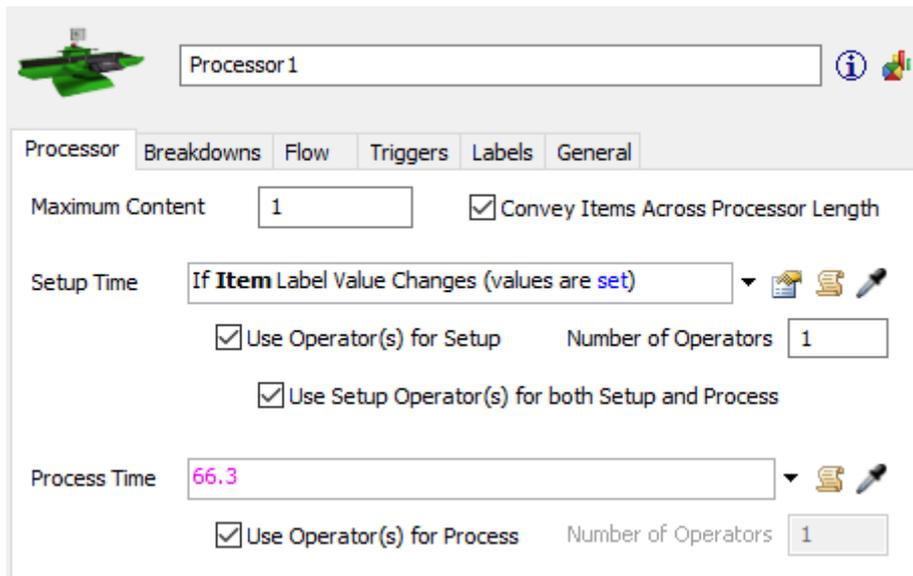
Fuente: Elaboración Propia



**Ilustración 23: Modelo Heijunka- Etapa 0 día 3**

Fuente: Elaboración Propia

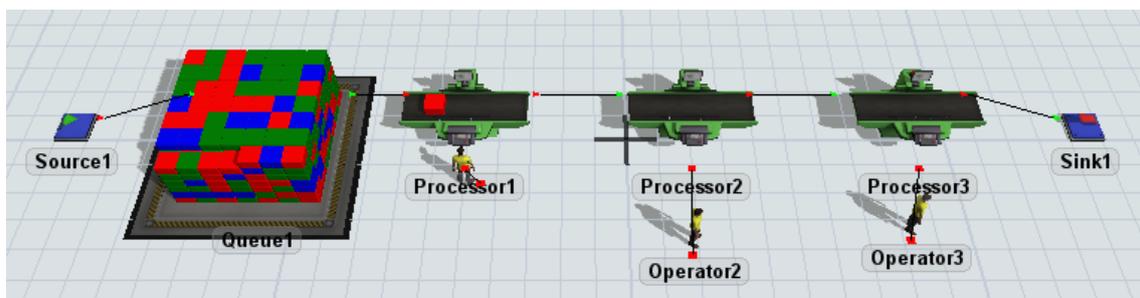
El último modelo de simulación para este escenario tiene ciertas diferencias con los demás. Este modelo si trabaja al ritmo del Takt time, y todas sus estaciones se someten a este ritmo de trabajo. En la ilustración 24 se puede observar el tiempo de operación. El tiempo de preparación por cambio en el tipo de producto es de 10 segundos. Este tiempo esta .3 segundo del Takt Time calculado.



**Ilustración 24: Tiempo de proceso**

Fuente: Elaboración Propia

De manera similar se ha efectuado un cambio en la producción como tal. En lugar de producir lo que se ordena por día, se hizo una nivelación por volumen, y en este modelo solo se procesan 340 unidades de los tres tipos de producto. En la ilustración 25 se muestra la producción que se realiza en el modelo que aplica Heijunka. En la tabla 2 se muestran los porcentajes de cada tipo con respecto a la producción total.



**Ilustración 25: Modelo Heijunka- Nivelación por tipo**

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 2: Porcentajes de producción**

	Porcentaje	Tipo
Row 1	33.53	1
Row 2	38.24	2
Row 3	28.23	3

Fuente: Elaboración Propia

## **5.2 MÉTODOS DE ENSEÑANZA APLICADOS EN LA INVESTIGACIÓN**

Este proyecto tuvo énfasis en técnicas de enseñanza. Para comprobar que los modelos de simulación fueron efectivos en el cumplimiento de su objetivo se tuvo que comparar con otro método de enseñanza. Para efectos de comparación se utilizó el método tradicional de enseñanza, clases magistrales. Los estudiantes voluntarios fueron divididos en dos grupos, un grupo recibió las clases magistrales y el otro recibió la practicas con las simulaciones.

Los grupos estuvieron conformados por 10 estudiantes cada grupo. Cada grupo participo en un numero de sesiones en la cuales se les impartió las clases magistrales o las practicas con las simulaciones. Para clases magistrales hubo dos sesiones. En la primera se cubrieron los temas 5s y Jidoka. En la segunda sesión se cubrió los temas SMED, Heijunka y Takt Tima.

Para las practicas con las simulaciones se realizaron 4 sesiones en total. Cada técnica se enseñó de manera aparte, a excepción de Heijunka y Takt Time, las cuales fueron cubiertas en la misma práctica. Los temas se cubrieron de manera individual debido a que las practicas con las simulaciones fueron diseñadas para ser más interactivas, y por lo tanto consumen mayor cantidad de tiempo.

Las sesiones se llevaron a cabo de acuerdo con la calendarización mostrada en la ilustración 26.

Septiembre						
Do	Lu	Ma	Mi	Ju	Vi	Sa
		1	2	3	4	5
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30			

Clase Magistral   
 Practica con simulacion   
 Ambas 

**Ilustración 26: Calendarización de sesiones**

Fuente: Elaboración Propia

### 5.2.1 CLASES MAGISTRALES

#### 5.2.1.1 5S Y JIDOKA

La primera sesión fue para impartir la clase de 5s y Jidoka. Esta sesión tuvo una duración aproximadamente de 45 minutos. El primer tema que se cubrió fue la metodología de las 5s. la dinámica que se siguió fue la de una clase magistral común. Se empezó por hablarles un poco de la historia y origen de la metodología. Aun si esto no juega un papel en la implementación de la metodología, se consideró importante darles a los estudiantes los precedentes de la metodología.

Seguido de esto se les explico a los estudiantes por qué se le nombro metodología 5s. Después de enseñarles a los estudiantes las cinco palabras que conforman la metodología se prosiguió a explicarle que significaba cada una. Las palabras se explicaron en el orden en el que se aplican. A la par de la descripción de cada s se les explico a los estudiantes la importancia que este paso tenía en la implementación completa. Al final de la explicación de cada s se les permitió a los estudiantes hacer preguntas.

Cuando todas las s fueron explicadas se cerró la temática explicando como todas actúan juntas para crear un mejor ambiente de trabajo. Antes de concluir con el tema se les permitió hacer preguntas para aclarar cualquier duda que pudieran tener. La explicación de uno de los pasos estuvo acompañada de imágenes que ayudaron a ilustrar de que se trataba cada paso.

Una vez finalizado el tema de las 5s, se pasó al siguiente tema a cubrir, Jidoka. Esta parte de la clase se inició de manera similar a la anterior. Se les hablo a los estudiantes acerca

del origen de Jidoka. Después de esto se les explico que es lo que significa Jidoka. En este punto se hizo una pausa para hacer énfasis en lo que es y lo que no es Jidoka. Debido a que Jidoka está relacionado con la automatización, es necesario dejar claro que Jidoka no es automatización absoluta. Esta pausa se usó para aclarar cualquier duda que hubiera hasta el momento.

Luego se habló de los componentes que conforman Jidoka. En esta parte se introducen algunos conceptos y se procede a explicar alguno de ellos. Componentes como las paradas automáticas, separación de hombre y maquina y la solución de los problemas se explicaron en ese momento. Los conceptos de poka yoke y andon se cubrieron un poco más adelante, ya que se utilizó ayuda visual para conferir que son exactamente estos conceptos.

Una vez finalizado el tema Jidoka, la primera sesión de clases magistrales había terminado.

#### 5.2.1.2 SMED, HEIJUNKA Y TAKT TIME

La segunda sesión de clases magistrales cubriría el resto de los temas a enseñar. Primero se empezaría con SMED. La primera acción que se realizo fue preguntar si algún estudiante había escuchado acerca de SMED. Esto se hizo para entender donde estaban los estudiantes en cuanto a su conocimiento de esta técnica.

Después de esto se les enseñaría a los estudiantes que significan las siglas SMED. En este mismo momento se les menciona a los estudiantes cuales son los objetivos de SMED. Debido al poco conocimiento que suele haber de esta temática se hizo énfasis en los objetivos que esta técnica tiene. Se aprovecho para hablarle a los estudiantes acerca de las ventajas de trabajar con esta técnica.

Seguido de esto se le enseñaría el proceso a seguir para la correcta implementación de SMED en una línea de producción. Cada paso se explicó a detalle suficiente para que los estudiantes entendiesen el porqué de cada paso. En este punto de la clase habría una pequeña pausa para que los estudiantes aclararan sus dudas a través de preguntas.

Una vez despejadas todas sus dudas continuamos a la última parte. En la parte final de la clase se les hablo a los estudiantes acerca de los dos tipos de actividades en la preparación de una máquina. En esta etapa se hizo énfasis en entender la diferencia entre

las actividades externas e internas, al igual que la importancia de reducir las actividades internas. Al final se les presento un video a los estudiantes para que se entendiera mejor la temática. Por último, se despejaron dudas nuevamente.

Al terminar con el tema de SMED se continuo con el tema de Heijunka y Takt Time. De manera similar, se comenzó con los orígenes de la palabra al igual que su significado. En esta parte se aclaró que Heijunka no hace cambios a la capacidad de producción, sino al ritmo de la producción.

Al dejar claro esos puntos, el siguiente paso fue mostrarles las diversas técnicas y herramientas que se necesitan para la implementación de Heijunka. Aquí se mencionó de manera breve que es cada una de esas técnicas. Algunas de estas serían cubiertas a mayor detalle más adelante en la clase.

Seguido a esto se les hablo de Takt Time, la manera de calcularlo y la importancia de manejarlo. Una vez se les enseñase que significa Takt Time se les enseñó la ecuación con la cual se calcula este valor. En este momento se haría una pausa y se les enseñaría a través de un ejercicio la aplicación de esta ecuación. Durante el ejercicio se les explico por qué Takt Time es una herramienta importante en el mundo de la producción.

Para finalizar se les enseñó a los estudiantes acerca de la caja Heijunka y la nivelación de producción. Al momento de cubrir la caja Heijunka, también se les explicaría a los estudiantes que es un Kanban. Se utilizo una imagen para aclarar que es una caja Heijunka y como se ve. La nivelación de producción se enseñó de ultimo, y de manera similar que con Takt Time, se usó un pequeño ejercicio para enseñar como hacerlo. Con esto se daría por finalizada ambas sesiones de clases magistrales.

## 5.2.2 PRACTICAS CON SIMULACIONES

### 5.2.2.1 5s

Antes de empezar con la simulación, a los estudiantes se les dio una breve introducción en la temática de las 5s. No se impartió una clase como con el otro grupo, en lugar de eso solo se les menciono los puntos clave de lo que se estaría cubriendo con la simulación. La dinámica que se utilizó en esta práctica fue una de interacción con los estudiantes.

Debido a que los estudiantes no podían operar el software, no podían interactuar directamente con los modelos de simulación. Sin embargo, si podían interactuar de manera indirecta, a través de un intermediario. De esta manera se involucró a los estudiantes en el desarrollo de la práctica.

Lo primero que se hizo fue introducir a los estudiantes al software Flexsim. Debido a que esta fue la primera sesión, se tomó tiempo para ayudar a los estudiantes a familiarizarse con algunos de los elementos del software. Una vez los estudiantes se sintieron familiarizados, se empezó con la práctica.

En la etapa inicial se les pidió a los estudiantes que observaran cuidadosamente el modelo que se les presento. Después de unos minutos para analizar el modelo se le pregunto a cada uno que observaron que estuviera mal. Luego se corrió la simulación y se les pregunto lo mismo. Después de esto se les explicaría el primer paso de la metodología 5s, la primera s seiri. Después de haber explicado el significado y función de seiri, se les pidió a los estudiantes que observaran nuevamente el modelo, esta vez para determinar que objetos eran necesarios y cuáles no.

Al terminar con la primera s, la practica continuo con la siguiente s. Luego de eliminar los objetos no deseados se les cuestiono a los estudiantes si consideraban que el modelo se miraba ordenado. Después de unas cuantas respuestas se les explico la segunda s, seiton. En este punto se les permitió a los estudiantes dar sugerencias en cuanto al orden que deberían tener los objetos. En este punto se hizo la transición al siguiente modelo.

El segundo modelo se utilizó para enseñar la tercera y cuarta s, seiso y seiketsu. En este punto se les hizo la pregunta a los estudiantes de si en algún momento de la práctica se había limpiado el área de trabajo. Con esto se introdujo seiso, y se agregó al operador en Flexsim encargado de la limpieza. Con la ayuda de los estudiantes se decidió la ruta para el operador encarado de la limpieza.

Aprovechando este momento en el que se determinó la ruta de este operador, se les planteo la interrogante a los estudiantes acerca de la distribución de espacio en la planta. Se les permitió a los estudiantes expresar sus opiniones en cuanto a la distribución de los objetos en el espacio de modelo. Se le pregunto a 5 estudiantes por su opinión en

cuanto a la organización de las estaciones de trabajo. En este punto se haría un alto y se cambió al último modelo.

Con el último modelo se terminó de explicar la cuarta s a los estudiantes. En este punto se explicó las medidas que se tomaron para estandarizar el proceso que se está simulando. Se aprovecho para introducir la última s, Shitsuke. El aprendizaje de esta última estuvo muy ligado a la participación de los estudiantes. Aquí se les planteo la interrogante a los estudiantes de cuál era la mejor manera de mantener la disciplina. Con esto se daría por concluida la primera practica con las simulaciones.

#### 5.2.2.2 JIDOKA

Antes de iniciar la práctica, se les hablo brevemente a los estudiantes acerca de Jidoka, para que tuviesen una noción del concepto. La práctica iniciaría con una pequeña charla acerca del control de calidad en una línea de producción. Seguido de esta charla Se dejo correr la simulación y al finalizar la simulación se les pregunto si encontraron algo que estuviese mal. Debido a que, en la etapa inicial, no se tiene configurada acción alguna al momento de fallo, los estudiantes no detectaron problema alguno.

Después de esto se cambió la configuración del MTBF/MTTR para que los procesadores cambiaran de color al momento del fallo. En este punto se les explico que, si el procesador se tornaba de color rojo, significaba que algo estaba fallando. De nuevo se corrió la simulación, y en este caso si notaron que había algo mal. En este momento se les explico que los fallos ya habían estado ocurriendo, pero que ellos no se habían dado cuenta. Con esto se enseña el concepto clave de Jidoka y se cambió al siguiente modelo de simulación.

El siguiente modelo se utilizó para enseñar los conceptos de parada automática y andon. En el segundo modelo el dispatcher actuó como tablero de luces, ya que este es quien avisaba al supervisor de los fallos. Las paradas ocurren de manera automática una vez se produce un fallo en la operación. De esta manera los estudiantes fueron capaces de ver la diferencia en la cantidad de producto defectuosos que se produjeron. En este momento se aclararon dudas a los que las tenían.

Antes de cambiar de modelo de simulación, se les planteo la interrogante a los estudiantes, si existía alguna alternativa mejor que la parada automática. Se les permitió

a los estudiantes analizar la pregunta antes de pedir una respuesta. Luego de preguntarles se les introdujo el concepto de poka yoke. Poka yoke es un aparato que evita que se cometan los errores, en este caso los fallos.

En el último modelo se les mostro a los estudiantes el máximo grado de automatización que se podía alcanzar en ese escenario. En este punto se hizo la aclaración entre la automatización completa y Jidoka. En el último modelo aún se pueden observar a los operadores de las estaciones de trabajo. Jidoka no es automatización completa, es automatización con un toque humano.

### 5.2.2.3 SMED

El tercer escenario de simulación fue dedicado a la enseñanza de SMED. De manera similar que los otros dos escenarios, se comenzó con una breve explicación de que es SMED y cómo funciona. Seguido de este se les presento a los estudiantes el modelo de simulación que representa la etapa antes de aplicar SMED. Al inicio de la práctica se tomó unos minutos para explicar a los estudiantes cómo funciona el modelo que significa cada uno de los textos presentes en el modelo.

Una vez terminado la introducción y la explicación del modelo se corrió la simulación. Debido al corto tiempo de simulación, esta se corrió a una velocidad más baja, permitiendo a los estudiantes analizar de mejor manera la simulación. Al finalizar la simulación se les pregunto a los estudiantes que observaron durante la corrida. Este modelo en particular acumula una gran cantidad de material en el queue, lo cual llamo la atención de los estudiantes.

La simulación se corrió una vez más para darle a los estudiantes la oportunidad de detectar algo que estuviera afectando la producción. Una vez finalizada la simulación, se les pidió a los estudiantes que dieran sus opiniones en cuanto a lo que estaba ocurriendo en la simulación, y porque estaba acumulando tanto material sin procesar. Luego de esto se les mostro a los estudiantes los tiempos de preparación con los que trabaja cada procesador.

Al mostrarles los tiempos de preparación, los estudiantes lograron descifrar cual era el problema con la producción. El tiempo de preparación debido al cambio de material con el que se trabaja es muy grande. En este momento se hizo una pausa con la simulación

para explicar los objetivos y componentes de SMED. La simulación se correría una vez más para que los estudiantes observaran los valores que se presentaban en los indicadores de desempeño.

Antes de avanzar al siguiente modelo se tocó a mayor detalle cada uno de los pasos de la aplicación de SMED. Fue en este momento que se describió que es una actividad interna y una actividad externa cuando se habla de la preparación de una máquina. Se hizo énfasis en la importancia de la diferencia de estos dos tipos de actividades y de convertir actividades internas en externas. Este escenario de simulación usa el cambio de actividades internas en externas como la fuente de cambio hacia los siguientes modelos.

Una vez que los estudiantes tuvieron claros los pasos de la aplicación de SMED se hizo el cambio al siguiente modelo de simulación. Antes de correr la segunda simulación se les muestra a los estudiantes el cambio en el valor de los textos "Actividad Interna" y "Actividad Externa". Seguido se les mostro los cambios en los tiempos de preparación de los procesadores. Después se corrió la simulación y se les permitió observar a los estudiantes el cambio tanto en cómo estaba fluyendo los productos, así como los valores de los indicadores de desempeño.

Al finalizar la simulación se le pregunto a todos los estudiantes, que consideraban ellos eran los beneficios de utilizar SMED en una línea de producción. En este momento se habló más acerca de los objetivos que persigue la implementación de SMED. De igual manera se mencionarían los beneficios que no fueron mencionados por los estudiantes. En este punto se realizó el cambio al último modelo de simulación para este escenario en particular.

El último modelo se utilizó para generar énfasis en los beneficios de la implementación de SMED. Al final de la simulación se les dio una variedad de ejemplos de cómo se utiliza SMED en la industria, he inclusive en otras áreas de trabajo que no son plantas de producción. La práctica se concluyó pidiendo a los estudiantes dar un breve resumen de lo que aprendieron. Este tiempo se utilizó para aclarar dudas que quedaron con los estudiantes.

#### 5.2.2.4 HEIJUNKA Y TAKT TIME

La última sesión de prácticas con las simulaciones fue dedicada a la técnica de Heijunka y al concepto de Takt Time. Antes de iniciar la practica con los simuladores se les dio a los estudiantes una breve introducción del tema de Heijunka y Takt Time. Durante esta introducción a la temática se le enseñó a los estudiantes la ecuación para calcular el Takt Time. En la ecuación 1 se puede observar la ecuación para calcular Takt Time.

$$Takt\ Time = \frac{Tiempo\ total\ de\ producción}{Demanda\ Total}$$

### **Ecuación 1: Takt Time**

Fuente: (*What is Takt Time and How to Define It?*, s. f.)

Seguido de esto se les presento el enunciado a los estudiantes con el cual se estaría trabajando durante las simulaciones. Aquí se planteó no solo la situación que se estaría simulando sino, también algunos de los conceptos asociados a Heijunka. Durante esta parte se aplicó la ecuación para calcular el Takt Time con los estudiantes. Se hizo énfasis en que se procesaban tres tipos de productos, tipo A, tipo B, y tipo C.

Al finalizar la parte introductoria de la práctica, se procedió a mostrar a los estudiantes el primer modelo de simulación. Esta práctica hizo uso de 4 modelos de simulación. Primero se introdujo el modelo de simulación y se les permitió a los estudiantes familiarizarse con el mismo. Todos los modelos siguen la misma organización básica. Los primeros cumplen la función de mostrar a los estudiantes lo que ocurre cuando una planta de producción no utiliza Heijunka en su flujo de producción.

El primer modelo representa el primer día de producción para la planta que se menciona en el enunciado. En este primer día se deben producir un total de 400 unidades del tipo A, ya que eso lo que la demanda del día indica. En este momento se corrió la simulación y se permitió que los estudiantes apreciaran el proceso. Debido a que este modelo simula un turno de 8 horas de trabajo, la velocidad de simulación se aumentó eventualmente.

Después de que los estudiantes vieran la simulación se les pregunto si encontraban algo mal con la corrida. Aquí los estudiantes tuvieron la oportunidad de ver que en el tiempo disponible no se había podido completar la orden de 400 unidades. Este momento se aprovechó para explicar la importancia de la nivelación de producción por volumen. De manera breve se regresó al enunciado y se les mostro a los estudiantes que, de haber

utilizado nivelación de producción, la cantidad a producir hubiese sido de 340 unidades, las cuales hubiesen podido ser procesadas en la misma cantidad de tiempo.

Luego de esto se recalcó que en este primer día de producción solo se trabajó un tipo de producto, no los tres. En este momento se planteó dos opciones a los estudiantes, continuar con la simulación y terminar las unidades restantes, o dejarlas para el siguiente día. Se menciona que, a pesar de ser una simulación, de seguir produciendo en ese mismo día, en la vida real esto representaría hacer que los empleados trabajaran horas extras. De igual manera se hizo entender que si la producción se posponía, se podía acumular los pedidos.

Habiendo planteado esta problemática se les permitió a los estudiantes discutir acerca de la mejor decisión para tomar. Una vez tomada la decisión se procedió a utilizar el siguiente modelo. El segundo modelo sigue el mismo esquema básico, el único cambio es el segundo source que genera el segundo tipo de producto, tipo B. La configuración de la cantidad de producto a procesar se realizó en base a la decisión tomada por los estudiantes en la simulación anterior. Luego se corrió la simulación.

Al finalizar la simulación, los estudiantes observaron que en este caso todas las unidades requeridas fueron procesadas. En este momento no se ofreció tiempo para preguntas, en lugar se procedió con el siguiente modelo. El modelo para el tercer día de producción sigue el mismo esquema que el modelo para el primer día. La diferencia es que en lugar de generar materia para el producto tipo A, genera materia solo para el producto tipo B.

La simulación se corrió y al finalizar se les preguntó a los estudiantes que pensaban acerca de la producción del día 3. En el tercer día de producción solo hubo 300 unidades del tipo B que procesar. Este momento se aprovechó para hacerlas una serie de comentarios y preguntas a los estudiantes. El primer comentario fue que hasta el momento no se había producido ni una sola unidad del producto tipo C. Seguido a esto se les hizo la pregunta de qué ocurriría si el cliente que ordenó unidades del tipo C quisiera que le entregaran antes las unidades.

Se les hizo más comentario y preguntas de este tipo a los estudiantes para hacerlos pensar en si había sido lo correcto trabajar un solo tipo de producto a la vez para minimizar el tiempo de preparación. Debido a que la práctica de SMED ya había sido

impartida, los estudiantes estaban conscientes de la cantidad de tiempo que se puede utilizar en la preparación del equipo.

Luego de un poco más de tiempo de discusión se procedió a mostrar a los estudiantes los tiempos de proceso y de preparación con los que están trabajando los procesadores. En este momento se explicó la importancia de tres factores en la aplicación de Heijunka. Al ver los tiempos los estudiantes fueron capaces de ver que los procesadores no estaban trabajando de acuerdo con el Takt time, ninguno de los procesadores lo estaba haciendo. Esta oportunidad se utilizó para enfatizar la importancia de utilizar el Takt Time.

Luego de esto se mencionó nuevamente el tema de SMED y una de las ventajas que este brinda. Heijunka es una técnica que requiere de flexibilidad en la línea de producción. SMED es una técnica que brinda flexibilidad a las maquinas que necesitan realizar cambios al momento de procesar productos de distintos tipos. Se recalco la necesidad de tener un proceso flexible cuando se producen una variedad de productos.

Lo último que se cubriría en este punto seria la importancia de la nivelación de producción. Aquí se regresó al enunciado para realizar la nivelación de producción por volumen y por tipo. Una vez se obtuvieron los valores con los que se trabajaría de manera diaria en la planta, se cambió al último modelo de simulación.

El último modelo de simulación ya tiene implementada todas las medidas requeridas por Heijunka. Lo primero que le mostro a los estudiantes fueron los tiempos de proceso y de preparación. Se le mostro como la suma de los dos equivalen al Takt Time que se calculó al inicio de la práctica. Luego de esto se enseñó la tabla global que dictaría la generación de los productos de acuerdo con la distribución que se determinó anteriormente.

Luego se correría la simulación para que los estudiantes observaran los distintos tipos de producto que se estaban trabajando. Al finalizar la corrida de la simulación se discutió con los estudiantes los efectos de la implementación de Heijunka en el proceso. Con el último modelo los estudiantes fueron capaces de ver el impacto de Heijunka. Con esto se dio por finalizada la práctica de simulación.

### **5.3 VALIDACIÓN ESTADÍSTICAS DE LA EFECTIVIDAD DE LOS SIMULADORES**

Para comprobar la efectividad de los modelos de simulación como herramienta de enseñanza se le aplicó a los estudiantes de ambos grupos una prueba de conocimientos. Se realizó una prueba de conocimiento por cada práctica con los simuladores. Esto equivale a cuatro pruebas, cada una cubriendo los temas vistos en cada práctica. Las mismas pruebas fueron aplicadas a todos los estudiantes, indistinto del grupo al que pertenecían.

Las pruebas se hicieron después de una segunda revisión de literatura. Se tomó como referencia diversas pruebas que se encuentran en línea de diversos cursos relacionados a los temas pertinentes. Se tomó en cuenta el consejo de personas con experiencia en el campo de la docencia. Tomando ambas fuentes de apoyo se realizaron las pruebas que fueron aplicadas a los estudiantes. Las pruebas se pueden encontrar en la sección de anexos.

### 5.3.1 RESULTADOS DE LA PRUEBA PARA METODOLOGÍA 5S

La prueba de conocimientos de la metodología de las 5s fue la primera que se aplicó a los estudiantes. Los resultados de los estudiantes en esta prueba se pueden ver en las tablas 3 y 4. En las tablas se puede ver las notas de cada estudiante y su puntaje en las preguntas de aplicación.

**Tabla 3: Notas de los estudiantes en clase magistrales, 5s**

Clase Magistral	
Nota de prueba	Ejercicios de aplicación
76	44
60	36
68	52
44	28
66	40
16	0
52	32
44	28

Fuente: Elaboración propia

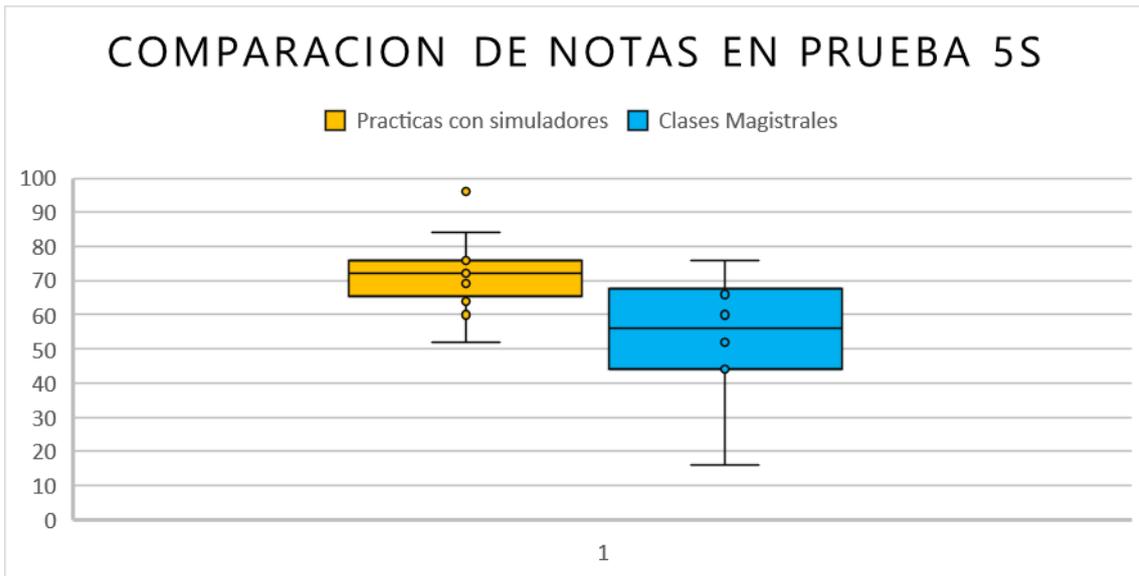
**Tabla 4: Notas de los estudiantes en prácticas, 5s**

Practica con simuladores	
Nota de prueba	Ejercicios de aplicación
69	40
96	60
84	60
72	52
72	52
72	40
64	40
60	40
76	52
76	52
52	40
72	40

Fuente: Elaboración propia

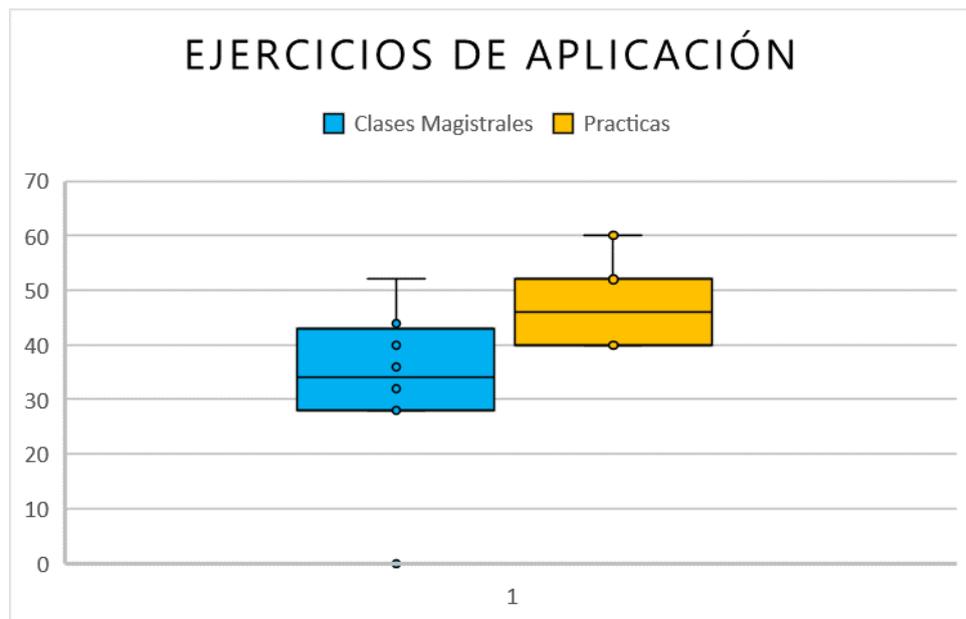
Las notas de todos los estudiantes que participaron y completaron la prueba de conocimientos para la metodología 5s están tabuladas en las tablas 3 y 4. A simple vista parece ser que los estudiantes que participaron en las prácticas con los simuladores tuvieron un mejor desempeño. Sin embargo, se realizó un gráfico de caja y bigotes al igual que pruebas de hipótesis para verificar si existían diferencias considerables.

El grafico de caja y bigotes se utilizó para visualizar la distribución de las notas de los estudiantes. Este grafico permitió visualizar una serie de valores estadísticos relevantes a la comparación de ambas muestras. En las ilustraciones 27 y 28 se pueden apreciar los gráficos de caja y bigotes para los resultados de la prueba 5s y sus preguntas de aplicación:



**Ilustración 27: Caja y bigotes, 5s**

Fuente: Elaboración propia



**Ilustración 28: Caja y bigotes, ejercicios de aplicación 5s**

Fuente: Elaboración propia

En el grafico podemos observar que los valores para los estudiantes en la clase magistral estuvieron más bajos que para los estudiantes que participaron en las practicas. También se apreció una mayor dispersión para los estudiantes en las clases magistrales. Este patrón se repitió con las calificaciones de las preguntas de aplicación. No obstante, esto no fue suficiente para alcanzar una respuesta concluyente.

Para alcanzar una respuesta se realizaron pruebas de hipótesis en los juegos de datos. Primero se aplicó una prueba f para comprobar si existía una diferencia en las varianzas de ambos grupos de datos. Esta prueba se hizo para las notas de las pruebas y para las notas de las preguntas de aplicación. En las tablas 5 y 6 se muestran los resultados de la prueba f para cada grupo de datos:

**Tabla 5: Prueba f para notas de la prueba, 5s**

Nota de la prueba

Prueba F para varianzas de dos muestras

	<i>Clase magistral</i>	<i>Practica con simuladores</i>
Media	53.25	72.08333333
Varianza	357.6428571	124.4469697
Observaciones	8	12
Grados de libertad	7	11
F	2.873857499	
P(F<=f) una cola	0.057363492	
Valor crítico para F (una cola)	3.012330343	

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 6: Prueba f para preguntas de aplicación, 5s**

Ejercicios de aplicación

Prueba F para varianzas de dos muestras

	<i>Clase magistral</i>	<i>Practica con simuladores</i>
Media	32.5	47.33333333
Varianza	239.7142857	66.42424242
Observaciones	8	12
Grados de libertad	7	11
F	3.608837331	
P(F<=f) una cola	0.028557598	
Valor crítico para F (una cola)	3.012330343	

Fuente: Elaboración propia

Para el conjunto de datos de las notas de la prueba, se encontró que las varianzas son estadísticamente iguales. El estadístico f fue de 2.87 el cual es menor al valor crítico f, que tuvo un valor de 3.01. Con las preguntas de aplicación la situación fue distinta, ya que los valores fueron 3.6 para el estadístico y 3.01 para el valor crítico. Eso significó que

las varianzas de estos dos grupos eran diferentes. Con estos resultados se procedió a realizar las pruebas de hipótesis.

Todas las pruebas de hipótesis se realizaron con las mismas hipótesis nula y alternativa. En las ecuaciones 2 y 3 se pueden ver dichas hipótesis.

$$H_0: \mu_{CM} - \mu_{PS} = 0$$

**Ecuación 2: Hipótesis nula para prueba de hipótesis**

$$H_1: \mu_{CM} - \mu_{PS} < 0$$

**Ecuación 3: Hipótesis alternativa**

Fuente: Elaboración propia

Una vez definidas las hipótesis se procedió a realizar las pruebas. En las tablas 7 y 8 se pueden apreciar los resultados de las pruebas de hipótesis.

**Tabla 7: Prueba de hipótesis para notas de la prueba, 5s**

Nota de la prueba

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales

	<i>Clase magistral</i>	<i>Practica con simuladores</i>
Media	53.25	72.08333333
Varianza	357.6428571	124.4469697
Observaciones	8	12
Varianza agrupada	215.1342593	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	18	
Estadístico t	-2.813150869	
P(T<=t) una cola	0.00575382	
Valor crítico de t (una cola)	1.734063607	
P(T<=t) dos colas	0.01150764	
Valor crítico de t (dos colas)	2.10092204	

Fuente: Elaboración propia

Observando los valores para el estadístico t de prueba y el valor critico t para una prueba de una cola podemos ver que el valor absoluto del estadístico de prueba es mayor. Con esto se rechazó la hipótesis nula, y se aceptó la hipótesis alternativa. Hubo suficiente evidencia para concluir que había una diferencia significativa entre las notas en las pruebas realizadas por los estudiantes que utilizaron los simuladores y los que recibieron las clases magistrales.

**Tabla 8: Prueba de hipótesis para preguntas de aplicación, 5s**

Ejercicios de aplicación

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales

	<i>Clase magistral</i>	<i>Practica con simuladores</i>
Media	32.5	47.33333333
Varianza	239.7142857	66.42424242
Observaciones	8	12
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	10	
Estadístico t	-2.489584013	
P(T<=t) una cola	0.016006502	
Valor crítico de t (una cola)	1.812461123	
P(T<=t) dos colas	0.032013005	
Valor crítico de t (dos colas)	2.228138852	

Fuente: Elaboración propia

La situación fue la misma para la prueba de hipótesis para las preguntas de aplicación. El valor absoluto del estadístico t fue mayor al valor crítico t para una prueba de una cola. Se rechazó la hipótesis nula y se aceptó la alternativa nuevamente. Hubo suficiente evidencia para concluir que las medias fueron estadísticamente diferentes.

En ambos parámetros, los estudiantes que utilizaron los simuladores tuvieron un mejor desempeño que sus contrapartes en las clases magistrales. Esto demostró que los simuladores tuvieron un efecto positivo en los estudiantes en el aprendizaje de la metodología 5s.

### 5.3.2 RESULTADOS DE LA PRUEBA PARA JIDOKA

La segunda prueba en aplicarse fue la prueba de conocimientos de Jidoka. Los resultados de las pruebas se pueden ver en la tabla 9. En la tabla 10 se pueden ver los resultados de las preguntas de aplicación.

**Tabla 9: Notas de los estudiantes en clases magistrales, Jidoka**

Clase Magistral	
Nota de prueba	Ejercicios de aplicación
90	20
60	10
40	10
50	30
90	40
50	30
90	30
90	20

Fuente: Elaboración propia

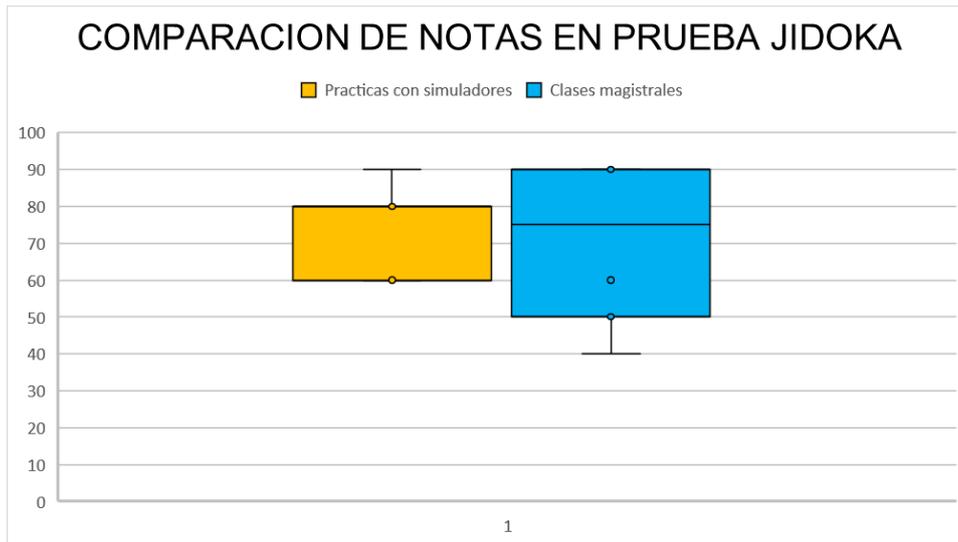
**Tabla 10: Notas de los estudiantes en prácticas, Jidoka**

Practica con simuladores	
Nota de prueba	Ejercicios de aplicación
80	30
80	30
80	30
80	30
60	20
60	10
90	40
80	30
80	30
60	20

Fuente: Elaboración propia

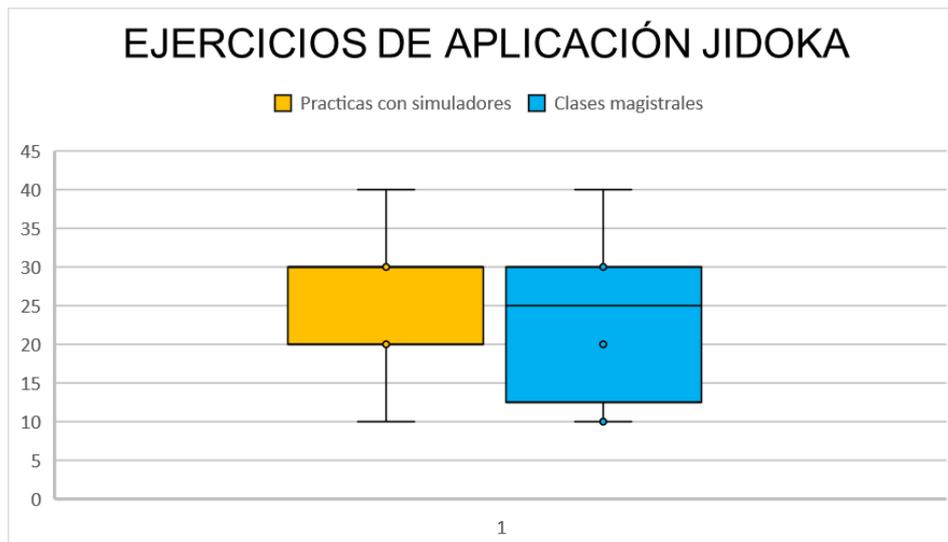
De manera general se puede observar en las tablas que los valores para los estudiantes que utilizaron los simuladores fueron mayores. En el caso de los ejercicios de aplicación la mayoría se acercó al puntaje máximo de 40 puntos. En general los resultados fueron bastante buenos para ambos grupos.

En las ilustraciones 29 y 30 podemos observar los gráficos de caja bigotes para las notas y los ejercicios de aplicación.



**Ilustración 29: Caja y bigote, Jidoka**

Fuente: Elaboración propia



**Ilustración 30: Caja y bigotes, ejercicios de aplicación, Jidoka**

Fuente: Elaboración propia

Para las notas de la prueba podemos ver que la dispersión para los estudiantes que recibieron las clases magistrales fue mayor. Ambos grupos comparten el punto máximo, sin embargo, el grupo de las clases magistrales tuvo notas menores a las del otro grupo. En el caso de las preguntas de aplicación, los dos grupos comparten los valores extremos, no obstante, la dispersión para ambos grupos fue distinta.

Con esto se procedió a realizar las pruebas de hipótesis de la misma manera que con los resultados de la prueba anterior. En las tablas 11 y 12 podemos observar los resultados de estas pruebas.

**Tabla 11: Prueba f para notas de la prueba, Jidoka**

Nota de la prueba

Prueba F para varianzas de dos muestras

	<i>Clase magistral</i>	<i>Practica con simuladores</i>
Media	70	75
Varianza	485.7142857	116.6666667
Observaciones	8	10
Grados de libertad	7	9
F	4.163265306	
P(F<=f) una cola	0.025612014	
Valor crítico para F (una cola)	3.292745839	

Fuente: Elaboración propia

Para la nota de la prueba, el estadístico f fue mayor al valor crítico f, con valores 4.16 y 3.29 respectivamente. Estos indicaron que las varianzas no eran iguales, denotando el tipo de prueba de hipótesis que se debía aplicar.

**Tabla 12: Prueba f para preguntas de aplicación, Jidoka**

Ejercicios de aplicación

Prueba F para varianzas de dos muestras

	<i>Clase magistral</i>	<i>Practica con simuladores</i>
Media	23.75	27
Varianza	112.5	67.77777778
Observaciones	8	10
Grados de libertad	7	9
F	1.659836066	
P(F<=f) una cola	0.234891358	
Valor crítico para F (una cola)	3.292745839	

Fuente: Elaboración propia

En el caso de las preguntas de aplicación, el estadístico f fue menor al valor crítico. Los valores fueron 1.65 y 3.29 respectivamente. Con esto se procedió a realizar las pruebas de hipótesis, con las suposiciones pertinentes para cada caso.

En las tablas 13 y 14 se pueden observar los resultados para las pruebas de hipótesis para las notas y las preguntas de aplicación respectivamente.

**Tabla 13: Prueba de hipótesis para notas, Jidoka**

Nota de la prueba

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales

	<i>Clase magistral</i>	<i>Practica con simuladores</i>
Media	70	75
Varianza	485.7142857	116.6666667
Observaciones	8	10
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	10	
Estadístico t	-0.587702932	
P(T<=t) una cola	0.28488203	
Valor crítico de t (una cola)	1.812461123	
P(T<=t) dos colas	0.56976406	
Valor crítico de t (dos colas)	2.228138852	

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 14: Prueba de hipótesis para preguntas de aplicación, Jidoka**

Ejercicios de aplicación

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales

	<i>Clase magistral</i>	<i>Practica con simuladores</i>
Media	23.75	27
Varianza	112.5	67.77777778
Observaciones	8	10
Varianza agrupada	87.34375	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	16	
Estadístico t	-0.733121886	
P(T<=t) una cola	0.237044631	
Valor crítico de t (una cola)	1.745883676	
P(T<=t) dos colas	0.474089261	
Valor crítico de t (dos colas)	2.119905299	

Fuente: Elaboración propia

En esta ocasión, en ninguno de los dos casos se rechazó la hipótesis nula. Los resultados de la prueba no son estadísticamente diferentes. Al ver los valores no fue claro si realmente existía una diferencia significativa entre los resultados, al realizar las pruebas de hipótesis se confirmó que, en efecto, con las muestras que se tiene, no hay evidencia

para sugerir que los grupos son distintos. En todo caso se comprobó que los simuladores fueron tan efectivos como una clase magistral.

### 5.3.3 RESULTADOS DE LA PRUEBA PARA SMED

La tercera prueba en ser aplicada fue la prueba de conocimientos de SMED. A continuación, se muestran los resultados de esta prueba. Los resultados se pueden ver en las tablas 15 y 16:

**Tabla 15: Notas de los estudiantes en clases magistrales, SMED**

Clase Magistral	
Nota de prueba	Ejercicios de aplicación
84	24
90	30
100	30
30	0
100	30
74	24
90	30
84	24

Fuente: Elaboración propia

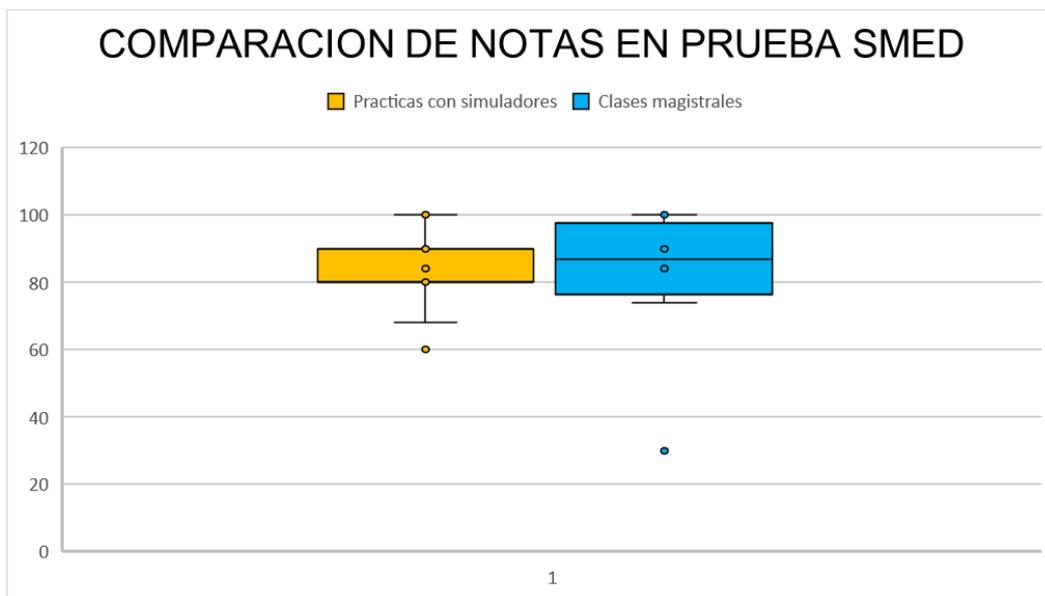
**Tabla 16: Notas de los estudiantes en prácticas, SMED**

Practica con simuladores	
Nota de prueba	Ejercicios de aplicación
90	30
80	30
80	30
68	18
60	30
100	30
80	30
100	30
90	30
84	24
80	30

Fuente: Elaboración propia

A simple vista parece que los resultados de los estudiantes de las prácticas de simulación obtuvieron mejores notas que el grupo que recibió las clases magistrales. En términos de las notas, ambos grupos obtuvieron calificaciones elevadas, sin embargo, se observó que el grupo de las clases magistrales tuvo un valor bastante bajo. En el caso del otro grupo no hubo una calificación tan baja.

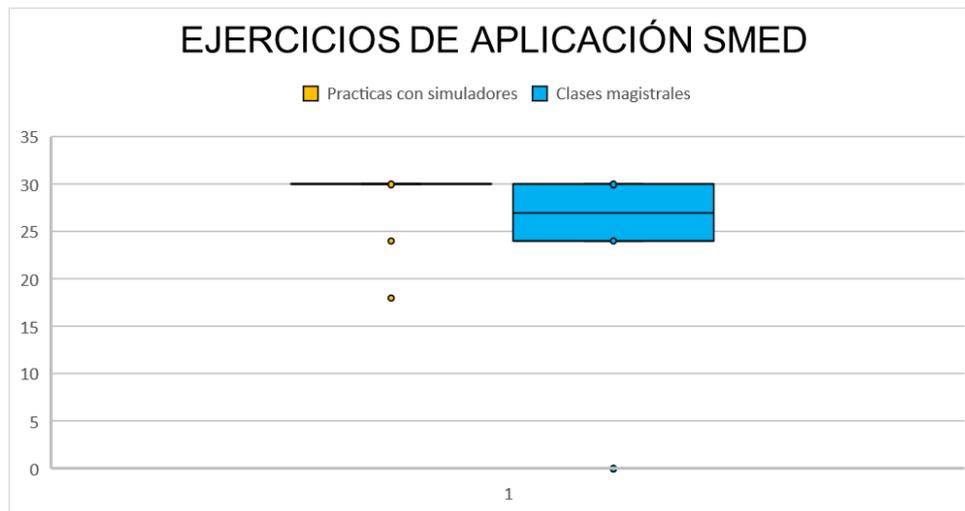
A fin de poder visualizar mejor la dispersión que tiene cada conjunto de datos, se hicieron gráficos de caja y bigotes. En las ilustraciones 31 y 32 se pueden apreciar los gráficos para las notas y preguntas de aplicación respectivamente:



**Ilustración 31: Caja y bigotes, SMED**

Fuente: Elaboración propia

A diferencia de otros casos, en este gráfico, el de las clases magistrales tuvo una dispersión menor a la de las practicas. Cabe resaltar que los valores más bajos de cada conjunto se encuentran fuera de los límites de cada caja. Estos se pueden considerar como valores atípicos considerando los separados que se encuentran de los demás.



**Ilustración 32: Caja y bigotes, ejercicios de aplicación, SMED**

Fuente: Elaboración propia

En el caso de las preguntas de investigación, el gráfico tomó una forma peculiar para el grupo de los estudiantes de las prácticas con los simuladores. Debido a la alta concentración de notas máximas (30), la caja se mostró como una línea, considerando los otros dos valores, como valores atípicos de la muestra.

Con estos resultados en mente, se procedió a evaluar los datos a través de las pruebas de hipótesis. En las tablas 17 y 18 se pueden observar los resultados para las pruebas f:

**Tabla 17: Prueba f para notas de la prueba, SMED**

Nota de la prueba

Prueba F para varianzas de dos muestras

	<i>Clase Magistral</i>	<i>Practica con simuladores</i>
Media	81.5	82.90909091
Varianza	507.1428571	146.6909091
Observaciones	8	11
Grados de libertad	7	10
F	3.457220766	
P(F<=f) una cola	0.037626698	
Valor crítico para F (una cola)	3.135464805	

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 18: Prueba f para preguntas de aplicación, SMED**

## Ejercicios de aplicación

### Prueba F para varianzas de dos muestras

	<i>Clase Magistral</i>	<i>Practica con simuladores</i>
Media	24	28.36363636
Varianza	102.8571429	15.05454545
Observaciones	8	11
Grados de libertad	7	10
F	6.832298137	
P(F<=f) una cola	0.003694238	
Valor crítico para F (una cola)	3.135464805	

Fuente: Elaboración propia

Para la prueba de SMED, ambos conjuntos de datos mostraron tener varianzas distintas. Tanto las notas de la prueba como las preguntas de aplicación difieren en sus varianzas. Esto se pudo observar ligeramente en los gráficos de caja bigotes que se mostraron anteriormente.

Habiendo determinado el estado de las varianzas, se realizaron las pruebas de hipótesis para las notas de las pruebas y las preguntas de aplicación. En las tablas 19 y 20 se pueden observar los resultados para estas pruebas de hipótesis:

**Tabla 19: Prueba de hipótesis para notas, SMED**

Nota de la prueba

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales

	<i>Clase Magistral</i>	<i>Practica con simuladores</i>
Media	81.5	82.90909091
Varianza	507.1428571	146.6909091
Observaciones	8	11
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	10	
Estadístico t	-0.160864776	
P(T<=t) una cola	0.437701633	
Valor crítico de t (una cola)	1.812461123	
P(T<=t) dos colas	0.875403267	
Valor crítico de t (dos colas)	2.228138852	

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 20: Prueba de hipótesis para preguntas de aplicación, SMED**

## Ejercicios de aplicación

### Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales

	<i>Clase Magistral</i>	<i>Practica con simuladores</i>
Media	24	28.36363636
Varianza	102.8571429	15.05454545
Observaciones	8	11
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	9	
Estadístico t	-1.156940837	
P(T<=t) una cola	0.13854008	
Valor crítico de t (una cola)	1.833112933	
P(T<=t) dos colas	0.27708016	
Valor crítico de t (dos colas)	2.262157163	

Fuente: Elaboración propia

Para las pruebas de SMED, en ambas pruebas de hipótesis no se rechazó la hipótesis nula. Esto confirmo que no hubo una diferencia significativa entre las notas de los estudiantes que utilizaron los simuladores y los que recibieron las clases magistrales. Estos resultados mostraron que cuando menos, los simuladores son tan efectivos como las clases magistrales, lo que los hace una alternativa viable.

#### 5.3.4 RESULTADOS DE LA PRUEBA PARA HEIJUNKA Y TAKT TIME

La última prueba que se aplicó fue la prueba del tema Heijunka y Takt time. Esta prueba es la única que tuvo 8 preguntas, en lugar solo tuvo 6. Sin embargo, es la única prueba que contó con una pregunta que involucro números y cálculos. La pregunta de aplicación represento 40 puntos de la prueba. Los resultados de la prueba y de la pregunta de aplicación se pueden ver en las tablas 21 y 22:

**Tabla 21: Notas de los estudiantes en clases magistrales, Heijunka**

Clase Magistral	
Nota de prueba	Ejercicios de aplicación
68	20
70	10
78	30
34	10
48	0
36	0
85	25
78	30

Fuente: Elaboración propia

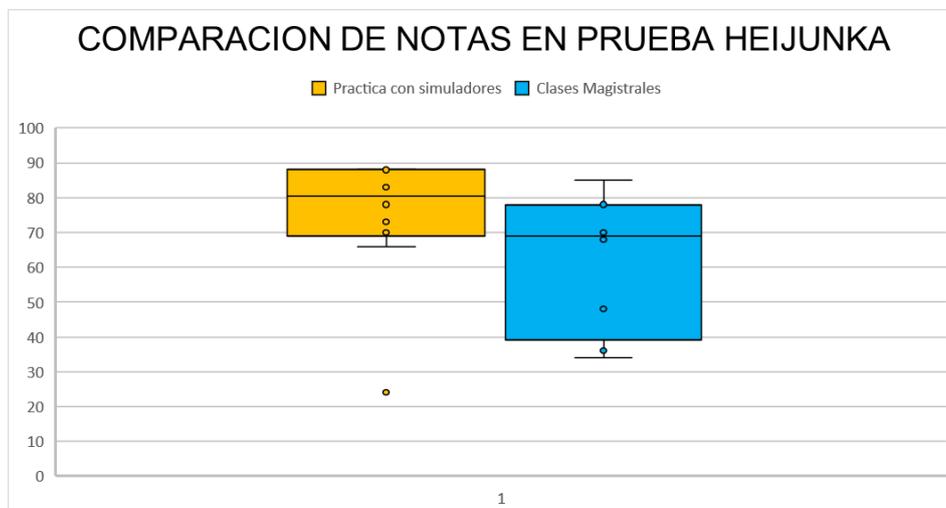
**Tabla 22: Notas de los estudiantes en prácticas, Heijunka**

Practica con simuladores	
Nota de prueba	Ejercicios de aplicación
78	30
66	30
88	40
24	0
88	40
83	35
88	40
70	30
73	25
88	40

Fuente: Elaboración propia

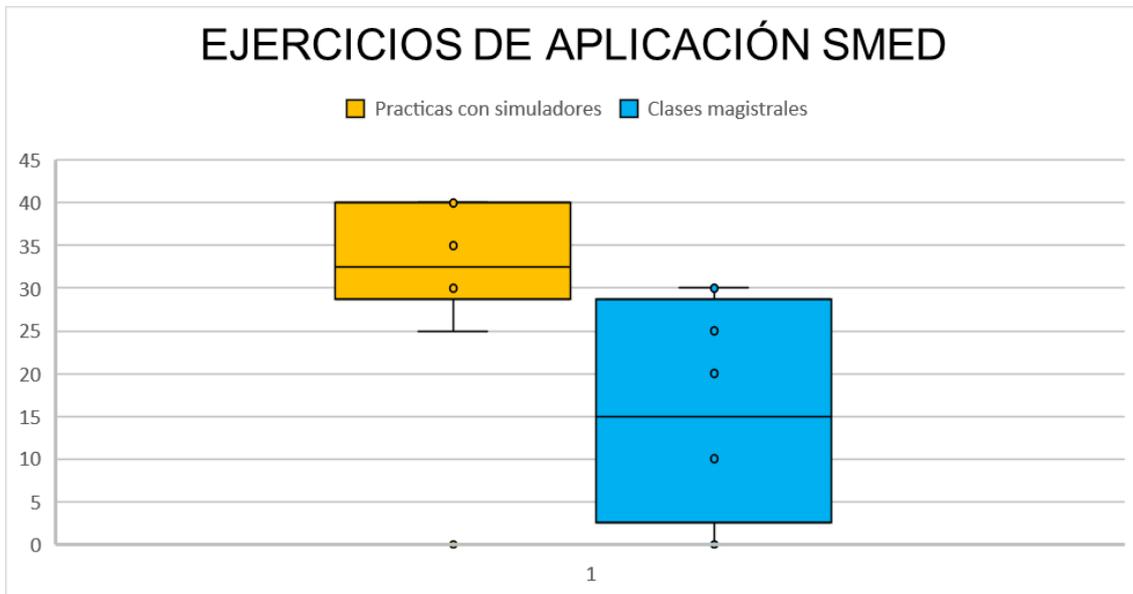
En las tablas se puede observar que ambos grupos obtuvieron puntuaciones altas y puntuaciones bajas. No obstante, el grupo de estudiantes que utilizaron los simuladores se desempeñaron mejor que los de las clases magistrales. Esta observación no es concluyente por lo que fue necesario realizar otros análisis.

En las ilustraciones 33 y 34 se pueden ver los resultados graficados utilizando la técnica de caja y bigotes:



**Ilustración 33: Caja y bigotes, Heijunka**

Fuente: Elaboración propia



**Ilustración 34: Caja y bigotes, ejercicios de aplicación, Heijunka**

Fuente: Elaboración propia

Para ambos gráficos se observa una gran diferencia entre un grupo y el otro. El grupo de las clases magistrales obtuvo valores inferiores a los del grupo con los simuladores. No solo tuvieron valores más bajos, también tuvieron una dispersión mayor que el otro grupo. Los gráficos pintaron una imagen de que los resultados de los estudiantes que utilizaron los simuladores fueron superiores. Para confirmar esto, se realizaron pruebas de hipótesis para la comparación de resultados.

Primero se realizó una prueba  $f$  para cada conjunto de datos. En las tablas 23 y 24 se pueden observar los resultados de las pruebas  $f$  para varianzas:

**Tabla 23: Prueba  $f$  para notas de la prueba, Heijunka**

Nota de la prueba

Prueba F para varianzas de dos muestras

	<i>Clase Magistral</i>	<i>Practica con simuladores</i>
Media	62.125	74.6
Varianza	399.5535714	384.2666667
Observaciones	8	10
Grados de libertad	7	9
F	1.039782021	
P(F<=f) una cola	0.466825699	
Valor crítico para F (una cola)	3.292745839	

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 24: Prueba f para preguntas de aplicación, Heijunka**

Ejercicios de Aplicación

Prueba F para varianzas de dos muestras

	<i>Clase Magistral</i>	<i>Practica con simuladores</i>
Media	15.625	31
Varianza	153.125	148.8888889
Observaciones	8	10
Grados de libertad	7	9
F	1.028451493	
P(F<=f) una cola	0.472760197	
Valor crítico para F (una cola)	3.292745839	

Fuente: Elaboración propia

En ambos casos se encontró que las varianzas eran iguales. A pesar de que en los gráficos de caja y bigotes se notaba una diferencia en la dispersión, uno de los datos para los estudiantes de las practicas, fue un valor sumamente bajo. Este valor fue probablemente el causante de que las varianzas fuesen iguales estadísticamente hablando.

Luego de estos se realizaron las pruebas de hipótesis para los resultados. En las tablas 25 y 26 se pueden observar los resultados de las pruebas de hipótesis:

**Tabla 25: Prueba de hipótesis para nota, Heijunka**

Nota de la prueba

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales

	<i>Clase Magistral</i>	<i>Practica con simuladores</i>
Media	62.125	74.6
Varianza	399.5535714	384.2666667
Observaciones	8	10
Varianza agrupada	390.9546875	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	16	
Estadístico t	-1.330105481	
P(T<=t) una cola	0.101066764	
Valor crítico de t (una cola)	1.745883676	
P(T<=t) dos colas	0.202133527	
Valor crítico de t (dos colas)	2.119905299	

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 26: Prueba de hipótesis para preguntas de aplicación, Heijunka**

Ejercicios de Aplicación

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales

	<i>Clase Magistral</i>	<i>Practica con simuladores</i>
Media	15.625	31
Varianza	153.125	148.8888889
Observaciones	8	10
Varianza agrupada	150.7421875	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	16	
Estadístico t	-2.640015391	
P(T<=t) una cola	0.008914247	
Valor crítico de t (una cola)	1.745883676	
P(T<=t) dos colas	0.017828495	
Valor crítico de t (dos colas)	2.119905299	

Fuente: Elaboración propia

La primera prueba de hipótesis, la que se hizo para las notas de la prueba, dio como resultado que la hipótesis nula no se rechazaba. Esto mostro que la no hubo una diferencia significativa en las notas de las pruebas, a pesar de aparentar que sí. No obstante, para las preguntas de aplicación esto fue distinto. La prueba de hipótesis comprobó que si existía una diferencia significativa. En este sentido los simuladores tuvieron un impacto positivo en el aprendizaje de los estudiantes.

De manera general, los resultados de las pruebas comprobaron la efectividad de los simuladores como herramienta de enseñanza. Los resultados por parte de los estudiantes de que utilizaron los simuladores fueron usualmente mayores a los de los estudiantes que recibieron las clases magistrales. En cuanto a las pruebas de hipótesis, estas comprobaron que los resultados por parte de los estudiantes en las practicas fueron iguales o mejores que los que recibieron las clases magistrales convencionales.

#### **5.4 VALIDACIÓN DE MODELOS DE SIMULACIÓN**

La segunda etapa de la validación de los modelos fue a través de encuestas de opinión y satisfacción. A los estudiantes que participaron en las practicas con los simuladores se les aplico una encuesta de satisfacción. Se considero importante la opinión de los estudiantes después de experimentar con los simuladores. A los docentes encargados de la clase Sistemas de Mejoramiento de Operaciones se le aplico una encuesta de opinión. La opinión de una de mayor experiencia tanto en el campo de la ingeniería como en el campo de la docencia ofreció información muy valiosa a la investigación.

##### 5.4.1 VALIDACIÓN POR OPINIÓN DE LOS ESTUDIANTES

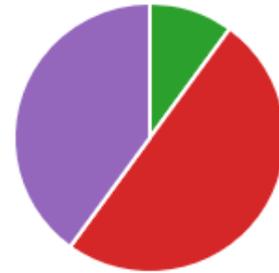
Como los estudiantes se sintieron durante las practicas con simuladores fue parte importante de la investigación. La efectividad de los métodos de enseñanza y aprendizaje se puede ver afectada por distintos factores. Entre estos factores se encuentra la apertura que el estudiante le dé a estos métodos. Si un estudiante no gusta de un método, esto dificulta el proceso de enseñanza. Con el propósito de tener una noción de este sentimiento, se elaboró una encuesta de satisfacción para los estudiantes, esta se puede encontrar en el anexo 5 en la sección de anexos.

De los 12 estudiantes que participaron en las practicas con los simuladores, 10 respondieron la encuesta de satisfacción. La primera pregunta de la encuesta pidió a los estudiantes decir cómo se sintieron con respecto a las practicas. En la ilustración 35 se pueden observar los resultados de la primera pregunta:

## 1. De manera general ¿Qué pensó de las practicas con las simulaciones?

[Más detalles](#)

● No me gustaron en lo absoluto	0
● No me gustaron	0
● No me gustaron ni disgustaron	1
● Me gustaron	5
● Me gustaron mucho	4



### Ilustración 35: Pregunta 1 de encuesta de satisfacción

Fuente: Elaboración propia

La opinión general de los estudiantes fue positiva. De los 10 encuestados solo 1 escogió la opción neutral. El resto de los estudiantes escogieron las opciones de “me gustaron” y “me gustaron mucho”. La mayor parte de los estudiantes que fueron parte de las practicas, mostraron mayor interés en participar de forma activa en la actividad, en comparación con los estudiantes que formaron parte de las clases magistrales.

Basándonos en la participación de los estudiantes en las practicas con los simuladores y los resultados de la encuesta, es posible que los simuladores ayudasen a capturar la atención de los estudiantes. Existe la posibilidad de que otros factores hayan influido en la participación de los estudiantes, sin embargo, es aparente que existe una correlación entre estos.

Las preguntas 2 y 3 de la encuesta preguntaban acerca de la opinión de los escenarios utilizados para los simuladores. Dos de las practicas tuvieron escenarios bien definidos que se usaron en conjunto con los simuladores. Estas prácticas fueron la de la metodología 5s y la de Heijunka y Takt Time. En las ilustraciones 36 y 37 se pueden apreciar los resultados a estas preguntas:

2. Pregunta; ¿Qué pensó del escenario usado para la simulación de la metodología 5s? (taller de carpintería)

[Más detalles](#)

● Me pareció esencial a la practi...	7
● Agrego un poco a la practica	3
● No agrego a la practica	0
● Me pareció innecesario	0



**Ilustración 36: Pregunta 2 de encuesta de satisfacción**

Fuente: Elaboración propia

3. ¿Qué pensó del escenario usado para la simulación de Heijunka? (producción de accesorios para carros)

[Más detalles](#)

● Me pareció esencial a la practi...	7
● Agrego un poco a la practica	3
● No agrego a la practica	0
● Me pareció innecesario	0



**Ilustración 37: Pregunta 3 de encuesta de satisfacción**

Fuente: Elaboración propia

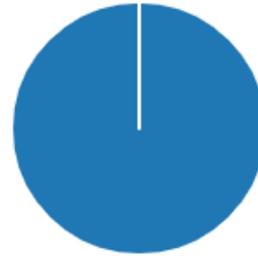
Para ambos escenarios hubo una reacción positiva de los estudiantes. En ambos casos los estudiantes consideraron que los escenarios agregaron valor a la práctica con el simulador. En ambos casos la mayoría de los estudiantes pensaron que el escenario fue esencial para la ejecución efectiva de la práctica. Los escenarios tenían la función de facilitar la comprensión de algunos conceptos. Basándonos en la respuesta, podemos ver que los estudiantes apreciaron el uso de un escenario que hiciera más tangibles los conceptos.

Es importante recordar que para los estudiantes que participaron en las prácticas con los simuladores, para muchos esta fue su primera vez en "contacto" con simuladores. Debido a esto se consideró preguntar su opinión con respecto al uso y efectividad de esta herramienta. Las preguntas de la 4 a la 6 cubren estas incertidumbres. En las ilustraciones 38 a la 40, se puede visualizar la respuesta de los estudiantes:

4. ¿Considera que las practicas con simulación son una buena forma de aprendizaje?

[Más detalles](#)

● Si	10
● No	0
● No estoy seguro/a	0



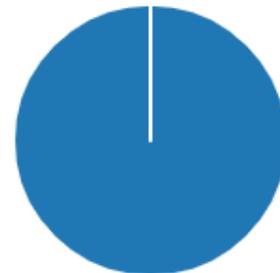
**Ilustración 38: Pregunta 4 de encuesta de satisfacción**

Fuente: Elaboración propia

5. ¿Cuál de estas frases coincide más con su experiencia en las practicas?

[Más detalles](#)

● Los simuladores agregaron val...	10
● Los simuladores no agregaron...	0
● Me sentí distraído por los sim...	0



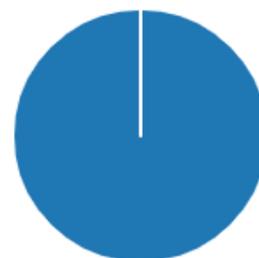
**Ilustración 39: Pregunta 5 de encuesta de satisfacción**

Fuente: Elaboración propia

6. ¿Le gustaría que se empleara más la simulación como herramienta de aprendizaje?

[Más detalles](#)

● Si	10
● No	0
● Tal vez	0



**Ilustración 40: Pregunta 6 de encuesta de satisfacción**

Fuente: Elaboración propia

Como se mencionó anteriormente para muchos, esta fue su primera experiencia con un simulador. Las respuestas a cada pregunta fueron positivas por parte de todos los estudiantes. La simulación es una herramienta que les permitió visualizar algunas partes de los temas que, de otra manera, no son tan fáciles de digerir. Adicional a esto, los

simuladores son más interactivos que una clase magistral aun cuando los estudiantes no tienen acceso a los simuladores ellos mismos.

Se pregunto a los estudiantes si les interesaba tener acceso a los simuladores. La práctica con los simuladores busca satisfacer la necesidad de tener una forma de aprendizaje más activa para los estudiantes. Sin embargo, debido a que los mismos no tienen acceso a los simuladores, aún existe un carácter pasivo en las practicas con los simuladores.

La pregunta 7 de la encuesta se encargó de preguntar a los estudiantes si gustarían tener los simuladores para las practicas. La ilustración 41 nos muestra los resultados de esta pregunta:

7. ¿Le gustaría tener acceso a los simuladores durante las practicas?

[Más detalles](#)



**Ilustración 41: Pregunta 7 de encuesta de satisfacción**

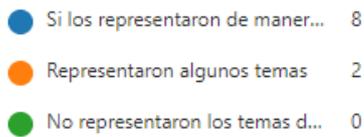
Fuente: Elaboración propia

La mayoría escogió tener acceso a los simuladores, con solo 1 estudiante optando por no tener acceso a los simuladores. El acceso a los simuladores convertiría la practica en una más interactiva para los estudiantes y menos pasiva. La solicitud de los simuladores muestra un claro deseo de los estudiantes de que las practicas sean más interactivas, reduciendo las partes pasivas lo más posible.

Se quiso evaluar si los estudiantes pensaban que los simuladores habían sido efectivos no solo como herramienta de enseñanza de manera general, sino específicamente para los temas cubiertos. La ilustración 42 muestra los pensamientos de los estudiantes con respecto a esta interrogante:

8. ¿Considera que los simuladores representaron de manera efectiva los temas cubiertos?

[Más detalles](#)



**Ilustración 42: Pregunta 8 de encuesta de satisfacción**

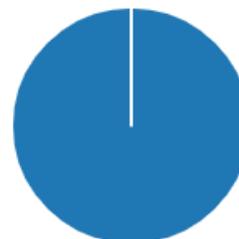
Fuente: Elaboración propia

8 de los estudiantes consideraron que, si representaron de manera efectiva los temas cubiertos, 2 consideraron que solo representaron algunos. Algunos conceptos mencionados durante las practicas no fueron representados en las simulaciones. Se especifico cuales conceptos no serían representados. Los resultados muestran que a la mayoría de los estudiantes sintieron que los simuladores fueron efectivos en transmitir los conocimientos que adquirieron.

La pregunta 9 fue la última pregunta de la encuesta. Esta les preguntó a los estudiantes si les gustaría el uso de simuladores específicamente para la clase de Sistemas de Mejoramiento de Operaciones. Uno de los requisitos para participar en las prácticas y en las clases, fue que los estudiantes no hubiesen cursado la clase en cuestión. En la ilustración 43 se muestran los resultados a la pregunta 9:

9. ¿Le gustaría que se utilizara los simuladores en la clase de Sistemas de Mejoramiento de Operaciones?

[Más detalles](#)



**Ilustración 43: Pregunta 9 de encuesta de satisfacción**

Fuente: Elaboración propia

Los estudiantes encuestados eligieron "si" como su respuesta. Los estudiantes que participaron en las practicas mostraron interés en los simuladores. Esto hizo que las

prácticas fuesen más sencillas de impartir que las clases normales. El componente visual, interactivo ayudo a que los estudiantes se mantuvieran en clase, dentro del tema. La respuesta de esta pregunta demuestra que los estudiantes gustan de ese componente distinto.

La opinión de los estudiantes hacia las practicas fue mayormente positiva. Los temas impartidos no son particularmente especiales cuando se aprenden de manera convencional, sin embargo, los simuladores ofrecen algo extra a estos temas. La reacción positiva de los estudiantes comprueba esto. El factor visual interactivo jugo un papel en la aceptación de los simuladores por parte de los estudiantes. Es posible que el cambio de lo normal haya tenido un efecto en el interés mostrado por parte de los estudiantes.

#### 5.4.2 VALIDACIÓN POR OPINIÓN DE DOCENTE

El tercer método de validación para los simuladores fue la opinión de un experto en el tema. Se solicito el apoyo del ingeniero Mendel Nelson, docente que imparte la clase de Sistemas de Mejoramiento de Operaciones. Se le pidió al docente que hiciera uso de los simuladores y que brindara su opinión en cuanto a los simuladores.

Se creo un manual para el uso de los simuladores y la impartición de los practicas. El manual está dirigido a los docentes que potencialmente puedan hacer uso de los simuladores para impartir las practicas. El manual habla acerca de los simuladores, sus características y función dentro de cada práctica. Se detalla una manera en que se puede llevar a cabo la practica con cada simulador. Es importante notar que el manual es solamente una ayuda para docentes menos experimentados. El manual invita a los docentes a realizar cambios si lo consideran necesario. El manual se basó en las practicas sostenidas con los estudiantes voluntarios. A continuación, se muestra el manual:



**Facultad de Ingeniería**

**Carrera de Ingeniería Industrial y de Sistemas**

**Manual de uso de Modelos de simulación para el fortalecimiento de conceptos Lean Manufacturing**

**Dirigido a: Docentes que imparten la clase de Sistemas de Mejoramiento de Operaciones**

**Elaborado Por: Allan Antonio Figueroa Quiroz**

## **Introducción**

Este manual contiene un total de cuatro prácticas que hacen uso de modelos de simulación. Los temas que se cubren en este manual son la metodología 5s, Jidoka, SMED, Heijunka y Takt Time, en ese orden. Las practicas están diseñadas para reforzar los conocimientos previamente adquiridos en las clases del curso de Sistemas de Mejoramiento de Operaciones.

Las practicas no están diseñadas para enseñar por sí solas los temas que se encuentran en este manual. El manual está diseñado para ayudar a los docentes que imparten la clase de Sistemas de Mejoramiento de Operaciones a realizar las practicas con los modelos de simulación. Este manual asume que los estudiantes no tendrán acceso al software Flexsim.

Este manual asume que los estudiantes no tienen la posibilidad de utilizar el software de Flexsim. De igual manera este manual asume que el docente en cuestión está familiarizado con el software.

## **Objetivos**

- Guiar a los docentes en el uso de las simulaciones.
- Ayudar en la dinámica a seguir en las practicas con las simulaciones.

## **Practica de simulación 1: Metodología 5s**

### **Objetivos:**

- Reforzar la metodología 5s, sus pasos y el orden en el que se ejecutan.
- Representar de manera visual y activa la implementación de los pasos de la metodología 5s

**Duración de practica:** 45 minutos a 1 hora

**Numero de modelos:** 3

### **Escenario de simulación:**

Los modelos de simulaciones para la metodología de las 5s trabajan bajo el siguiente escenario:

Un taller de carpintería quiere implementar la metodología de las 5s. Se decide que para empezar se aplicara en un área del taller que se dedica a hacer mesas. Las estaciones que se encuentran en esta área del taller son las siguientes:

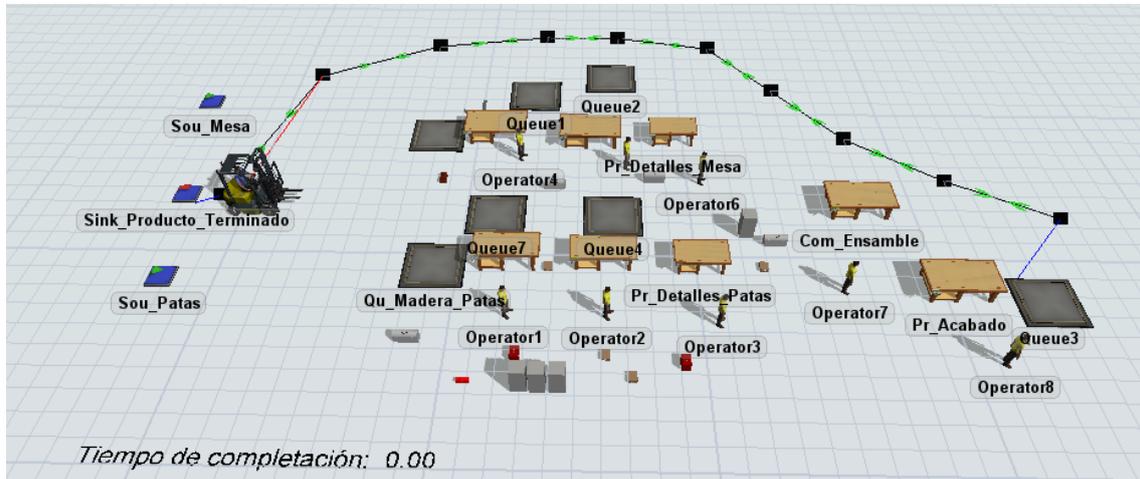
- Cortado de tablero de mesa (parte superior)
- Cortado de patas
- Lijado y pulido de mesa (parte superior)
- Lijado y pulido de patas
- Detalles mesa (parte superior)
- Detalles de patas
- Ensamble
- Acabado

La entrada de materia se encuentra en la entrada del área de carpintería. El producto terminado es trasladado por un montacargas. Los modelos de simulación están programados para producir un total de 12 mesas, una vez se entregue la última mesa se debe detener la simulación.

### **Modelos de simulación:**

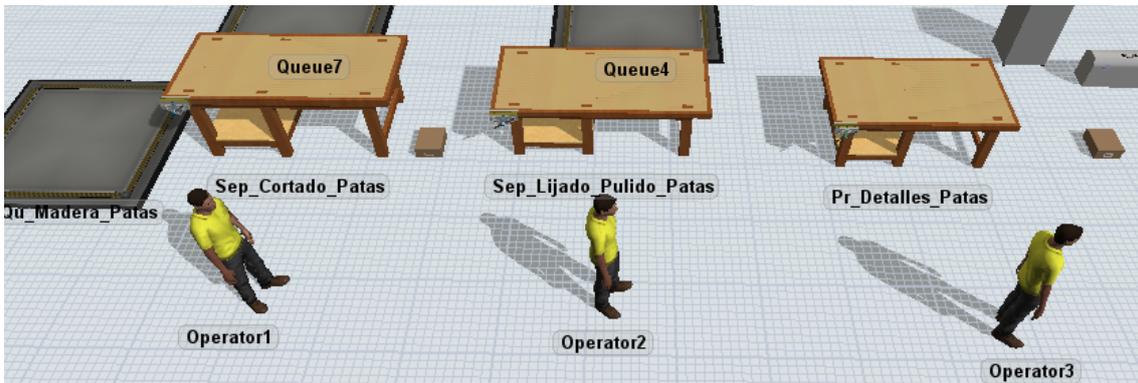
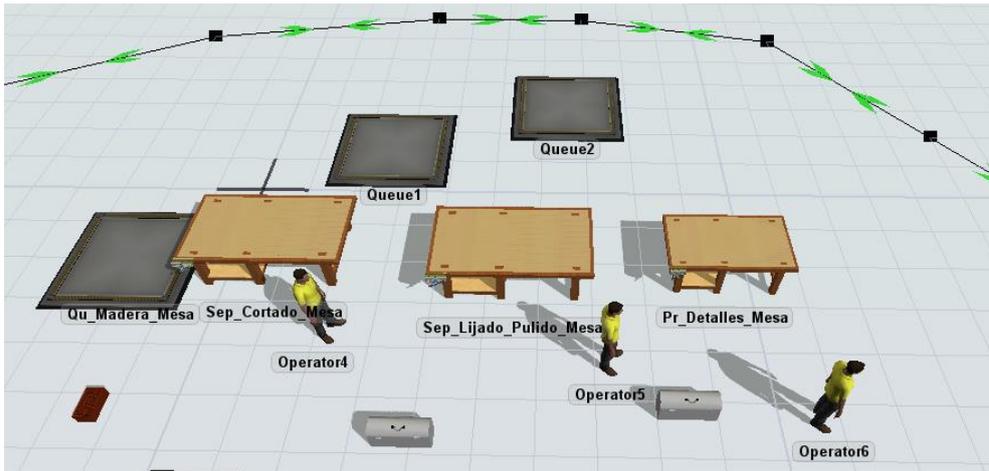
Modelo 1:

El primer archivo que debe usarse es Etapa\_Inicial\_5s, en este modelo aún no se ha implementado ninguna de las fases de la metodología 5s. En la siguiente imagen se puede observar el modelo de simulación:

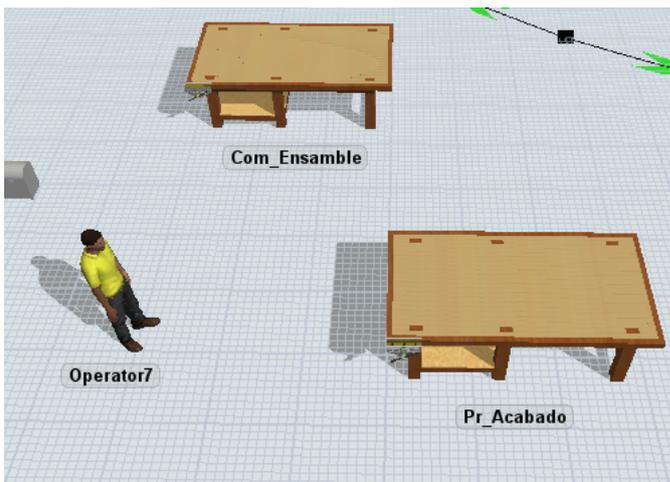


Como se mencionó anteriormente, el escenario que se está simulando es el de un área de un taller de carpintería. Esta área se dedica a hacer mesas. En las siguientes imágenes se pueden observar ambas líneas que conforman parte de la línea de producción de las mesas. La primera imagen muestra la línea para los tableros de las mesas, mientras que la segunda muestra la línea para las patas. La línea de los tableros se encuentra en la parte superior de los modelos. La línea de las patas se encuentra en la parte inferior de los modelos. Los queue's 1, 2, 7 y 4 que se observan actuaron como áreas para desechos, el aserrín.

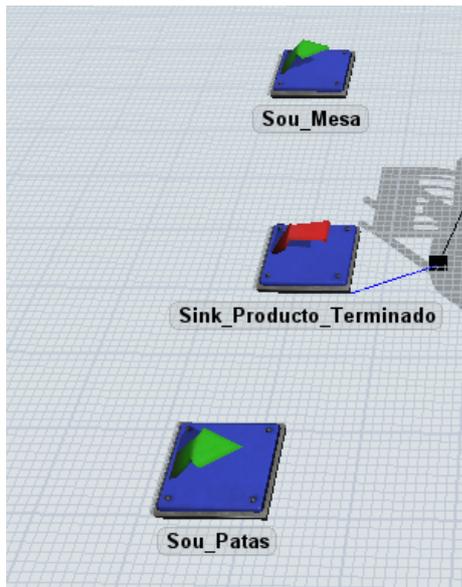
En las imágenes se observa una serie de nodos entrelazados. Estos sirven como la ruta que el montacargas seguirá para tomar las mesas y llevarlas al sink. Esta ruta se encuentra en la parte superior del modelo.



La siguiente imagen muestra las últimas dos estaciones de trabajo de la línea de producción. Las últimas dos estaciones son la estación de ensamble y la estación de acabado. Estas estaciones se encuentran ubicadas en el lado derecho de los modelos de simulación.



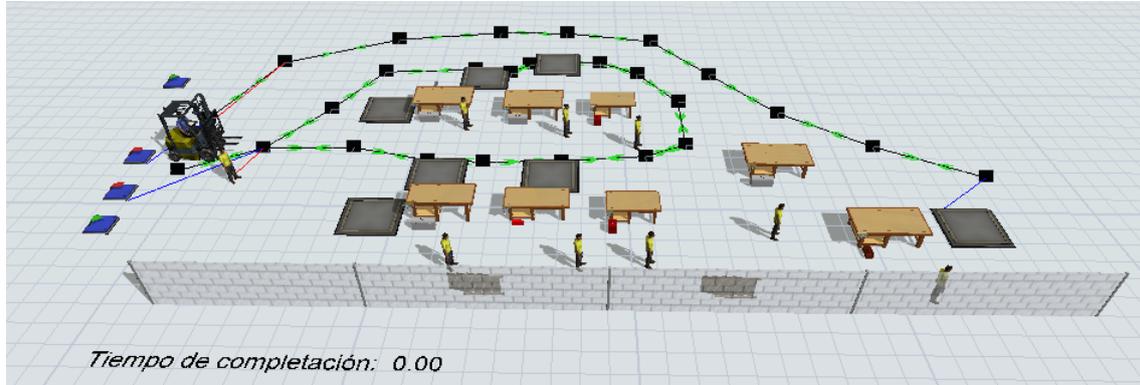
En la siguiente imagen se muestran los sources que generaran el material a ser procesado y el sink que recibirá el producto terminado.



Modelo 2:

El segundo modelo que se debe utilizar tiene el nombre de Etapa\_2\_5s.

El segundo modelo tiene una serie de cambios en relación con el modelo anterior. Uno de los cambios es la ubicación de los objetos decorativos. En la siguiente imagen se pueden observar los cambios realizados.

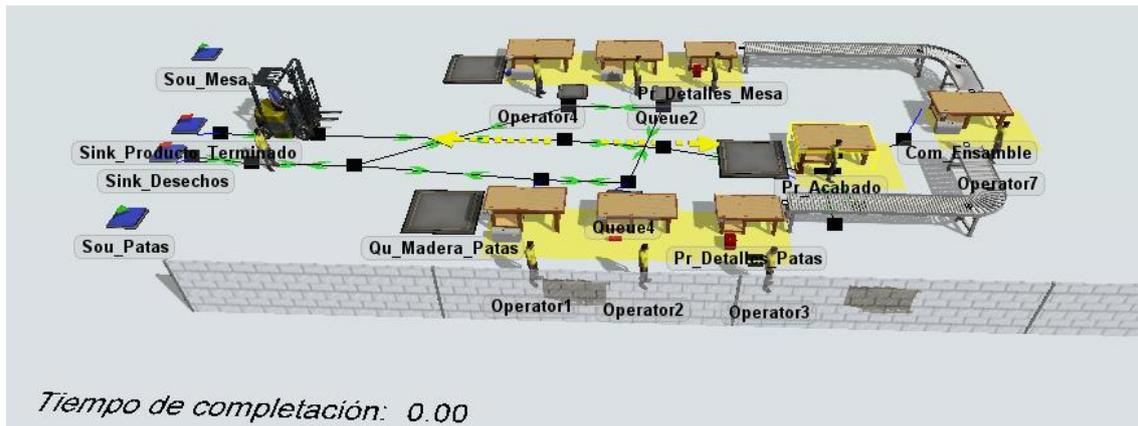


También se agregaron objetos al modelo. Se agregó una pared en la parte inferior del modelo y en esta se colocaron tableros para materiales y herramientas. Se agregó un sink, un operador y una nueva serie de nodos para trazar la ruta del operador nuevo.

Modelo 3:

El segundo modelo que se debe utilizar tiene el nombre de Etapa\_2\_5s.

En el último se realizaron más cambios en relación con el modelo anterior. En la siguiente imagen se muestran los cambios.



Se cambió la distribución de las estaciones, se cambió la ruta del montacarga y del operador. Se agregaron cintas transportadoras al final de cada línea individual y están dirigiendo a la estación de ensamble. También se agregaron más objetos decorativos con funciones definidas.

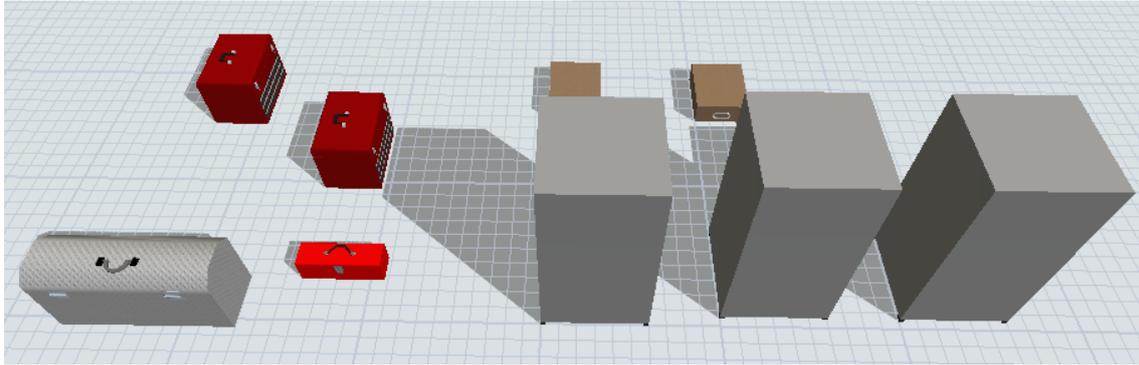
### **Practica:**

Aviso: Puede correr cada simulación cuantas veces sienta necesario para conferir las cosas

Se sugiere iniciar la práctica de la simulación refrescando brevemente la metodología 5s previamente cubierta en clase. Esto se puede hacer a través de un breve repaso o a través de preguntas a los estudiantes. Luego del repaso plantee el escenario de la simulación y luego abra el primer modelo de simulación.

Al abrir el primer modelo de simulación debe explicar a los estudiantes que son los objetos que se observan en la simulación y que función cumple cada uno. Deberá asegurarse que los estudiantes comprendan que hace cada objeto y que rol juegan en el escenario que se les planteó. Cuando los estudiantes hayan comprendido la función de cada objeto, proceda a correr la simulación. Escoja una velocidad de simulación que le permita a los estudiantes ver que ocurre en la simulación.

Al terminar la corrida pida a los estudiantes que compartan sus pensamientos en cuanto al funcionamiento de la línea de producción. Pida a los estudiantes que ofrezcan ideas para empezar a implementar la metodología de las 5s. En la siguiente imagen se mostrarán algunos de los objetos decorativos.



Seiri:

La clasificación de todos los objetos de esta naturaleza que se encuentran por el modelo de simulación son el enfoque de la primera s, seiri. Aquí se sugiere que discuta con los estudiantes acerca de la utilidad de cada uno de los objetos en cuestión.

Seiton

Seguido a esto el docente deberá proceder con la implementación de la segunda s, seiton. Nuevamente se debe solicitar la participación de los estudiantes para definir un orden para los objetos en cuestión. En el segundo modelo de simulación ya hay un orden predeterminado para los objetos, pero sienta la libertad de experimentar con este si gusta. Es válido implementar las sugerencias de los estudiantes si estas se apegan a la metodología.

Seiso:

Una vez se discutan y se apliquen las primera dos "s", deberá empezar a discutir con los estudiantes la aplicación de la tercera s, seiso. La participación de los estudiantes es clave en el desarrollo de la práctica. Una vez haya terminado, abra el segundo modelo de simulación. El segundo modelo tiene implementada una medida para seiso, la cual es el uso del nuevo operador para eliminar el aserrín. Siéntase en la libertad de realizar cambios si tiene nuevas maneras de implementar dicho paso.

Al terminar de cubrir estos pasos con los estudiantes deje correr la simulación. Escoja una velocidad de simulación adecuada para permitir a los estudiantes analizar lo que ocurre en la simulación. Al finalizar permita que los estudiantes compartan sus pensamientos acerca de los cambios realizados y su impacto.

Seiketsu:

Al llegar a esta etapa, si los estudiantes no han mencionado el tema de la seguridad y los accidentes, recuérdelos de la posibilidad de estos. Asegúrese de recordarles que la ruta del montacarga sigue siendo la misma. Es importante que los estudiantes tengan presente estos elementos antes de proceder con la cuarta s.

Al traer estos elementos a la mente de los estudiantes, proceda a discutir con ellos como solucionar estos problemas usando seiketsu. Dedique unos minutos para discutir con sus estudiantes las potenciales medidas para implementar este paso. Luego de esto abra el último modelo y muestre a los estudiantes los cambios que se implementaron de manera predeterminada.

Corra la simulación una vez para que los estudiantes aprecien los cambios. Luego de esto discutan posibles mejoras al modelo y pruébelas. Si implementa alguna posible mejora, pruébela corriendo la simulación.

Shitsuke:

La última s no se ve representada en los modelos de simulación. En esta etapa deberá retar a los estudiantes a pensar en medidas que se podrían implementar para mantener la disciplina en el escenario planteado. Es importante que los estudiantes se involucren los más posible en este último paso.

Una vez termine de implementar cada paso en el escenario, tome unos minutos para resaltar los beneficios de utilizar la metodología. De igual manera asegúrese de recalcar las dificultades que se pueden presentar al momento de implementarla.

## Practica de simulación 2: Jidoka

### Objetivos:

- Reforzar los conceptos de Jidoka, su implementación y beneficios.
- Representar de manera visual y activa la implementación de un sistema Jidoka en una línea de producción.

**Duración de practica:** 45 minutos

**Numero de modelos:** 3

### Escenario de simulación:

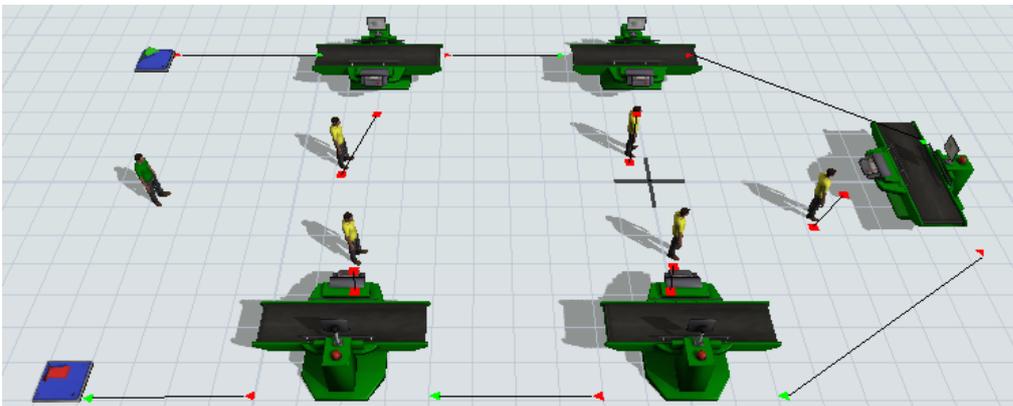
La empresa X actualmente está teniendo problemas con su clientela debido a la calidad de su producto. Se han recibido un numero de queja de que sus productos están saliendo con defectos. Por esta razón se ha contratado a un ingeniero industrial para que evalúe la situación.

Se le pide al ingeniero que implemente un sistema que ayude a la empresa a no llevar defectuoso a los clientes.

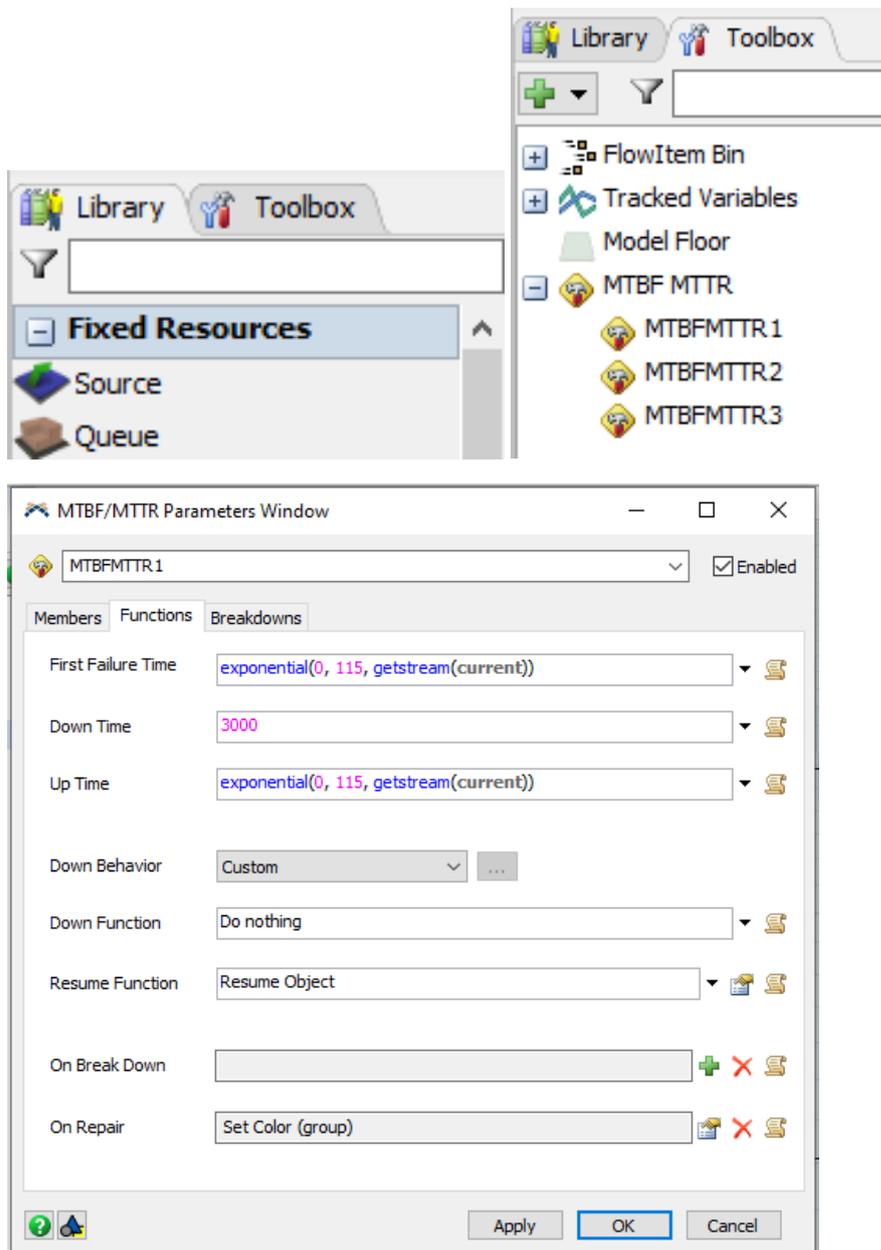
### Modelos de simulación:

Modelo 1:

El primer archivo que debe usarse es Etapa\_No\_Jidoka, en este modelo aún no se ha implementado un sistema Jidoka. En la siguiente imagen se puede observar el modelo de simulación:



La distribución que se muestra en este modelo se mantendrá en los siguientes modelos también. El operador con la camisa verde cumple la función de supervisor de planta. Los de camisa amarilla son los operadores de las maquinas. Este modelo y los siguientes hace uso de la función MTBF/MTRR para simular los defectos. Esto se puede observar en las siguientes imágenes:



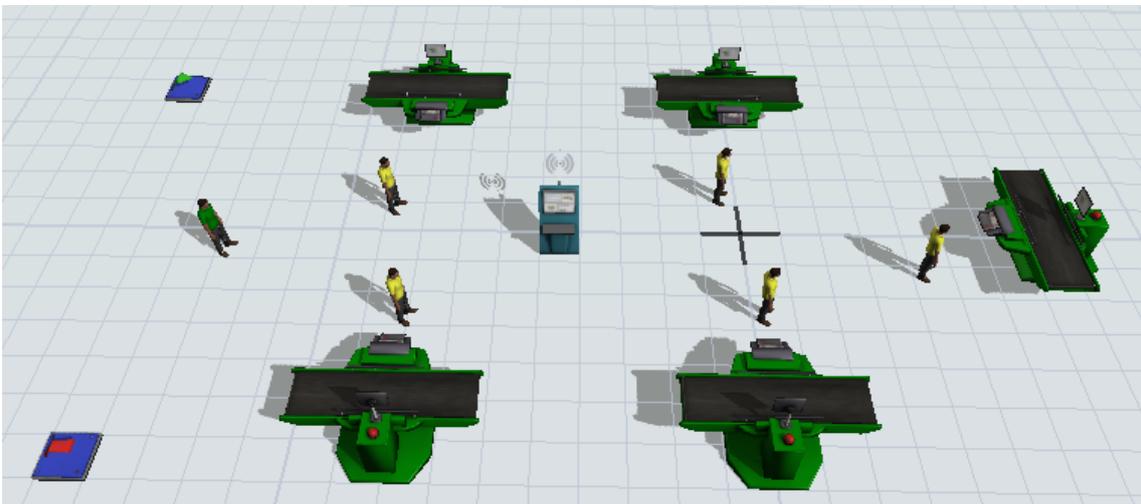
En las imágenes anteriores se observa donde se pueden ingresar a los MTBF/MTRR y como se ve la ventana de configuración de cada una. Todos los modelos constaran de estos elementos.

En este modelo no se ha configurado una acción al momento de fallo.

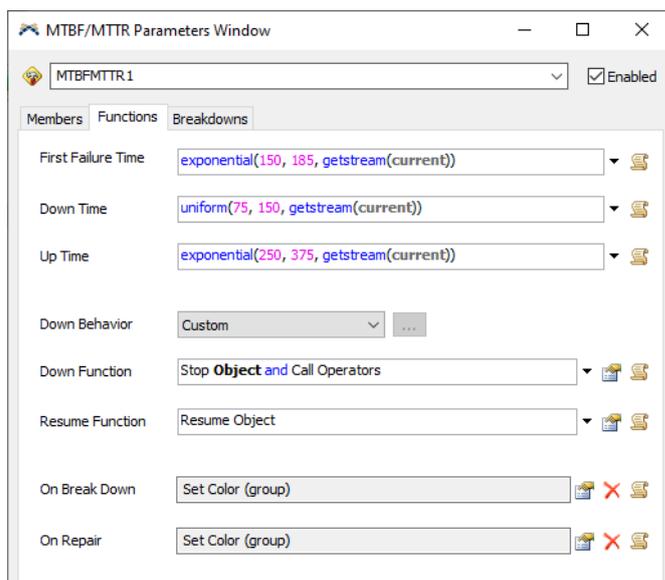
Modelo 2:

El segundo modelo que se debe utilizar tiene el nombre de Etapa\_1\_Jidoka.

El segundo modelo tiene una serie de cambios en relación con el modelo anterior. Uno de los cambios es la adición de un objeto conocido como dispatcher. Este objeto cumple la función de llamar al supervisor cuando ocurre un fallo en las maquinas. En la siguiente imagen se pueden observar los cambios realizados.



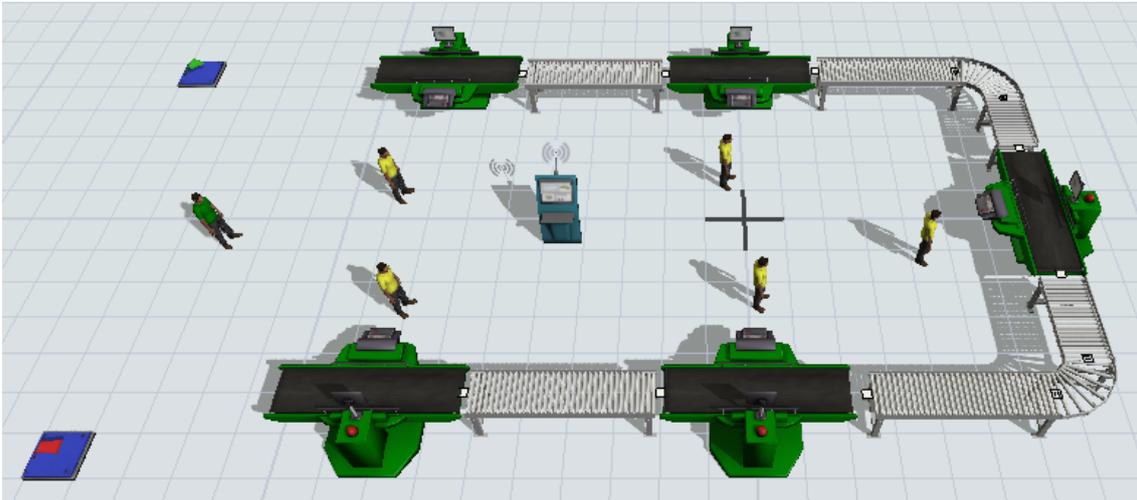
Se realizó una configuración diferente para los MTBF/MTTR. Se agregó la acción de detenerse al fallar y llamar al supervisor. También se configuró un cambio de color al fallar. En la imagen siguiente se aprecian los cambios:



Modelo 3:

El tercer modelo que se debe utilizar tiene el nombre de Etapa\_Final\_Jidoka.

En el último se agregó una cinta transportadora entre los procesadores. En la siguiente imagen se muestran los cambios.



Fuera de esto no se realizaron más cambios al modelo.

### **Practica:**

Para empezar esta práctica se recomienda realizar un pequeño repaso del tema Jidoka. Una vez haya terminado con el breve repaso, proceda a abrir el modelo de simulación.

Se recomienda que al abrir el modelo y compartir con los estudiantes el escenario el cual el modelo está simulando. Luego de hacer esto explique a sus estudiantes como se conectan los objetos y cuál es la función de los operarios.

**Importante:** Es importante que en este momento no mencione la función MTBF/MTTR a los estudiantes.

Al terminar de explicar cómo funciona el modelo corra la simulación y permite que los estudiantes observen lo que ocurre. Después de un tiempo pare la simulación y pregunte a sus estudiantes si fueron capaces de identificar donde se estaba generando los defectos en los productos. La pregunta sirve para poner a pensar a los estudiantes ya que en este punto no hay algo que indique que hay un problema.

Debido a que los estudiantes no serán capaces de localizar los errores que se están realizando, acceda a los MTBF/MTTR de cada máquina y configure cada uno para que

cambie de color al fallar, se recomienda el color rojo. Luego corra la simulación nuevamente y al final pregunte si identificaron donde se producían los errores.

Esta vez deberían de ser capaces de identificar las maquinas donde se generan los errores. Debe resaltar el hecho de que en este punto la empresa no sabe dónde se generan los defectos. Utilice este momento para mencionar la importancia de utilizar Jidoka y cómo funciona el sistema de Jidoka. Luego de esto proceda a abrir el siguiente modelo.

Una vez haya abierto el segundo modelo, explique a los estudiantes que hace el dispatcher. En este modelo el dispatcher función como un tablero andon. Es importante que explique de manera clara esta relación. Luego deje correr la simulación.

Al finalizar la corrida pida a sus estudiantes que analicen como cambio la dinámica de un modelo a otro. Haga énfasis en la diferencia de producto terminado. Al finalizar abra el último modelo y deje correr la simulación. Terminada la simulación permita que sus estudiantes de sus comentarios y opiniones acerca de la última simulación.

Al terminar con modelos exprese a los estudiantes de la importancia de control de calidad en una empresa. Exprese como las inspecciones no deben ser nuestra única medida de control de calidad. Es necesario explicar que Jidoka es una medida correctiva de control de calidad.

**Nota:** Puede utilizar este momento para hablar de la diferencia entre medidas preventivas y medidas correctivas en un sistema de control de calidad. Puede utilizar poka yoke como ejemplo de una medida preventiva.

## Practica de simulación 3: SMED

### Objetivos:

- Reforzar los pasos para la implementación de SMED.
- Mostrar de manera visual los efectos y beneficios que se obtienen al implementar SMED en un sistema productivo.

**Duración de practica:** 45 minutos a 1 hora

**Numero de modelos:** 3

### Escenario de simulación:

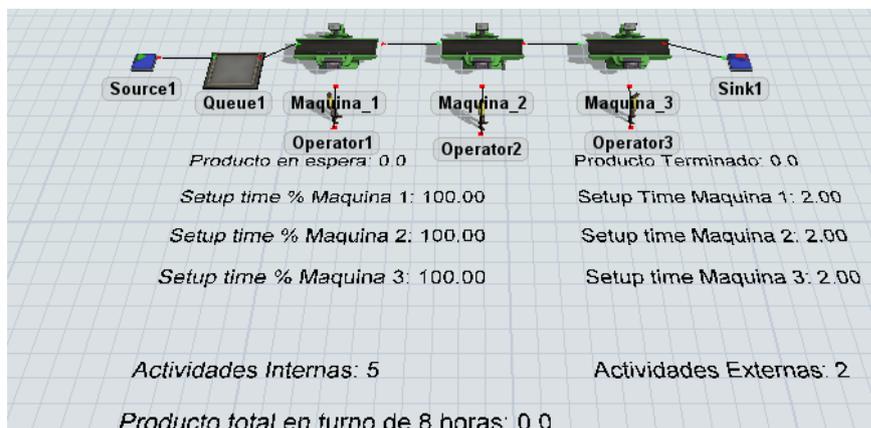
Usted es ingeniero de planta y recientemente ha visto una disminución en la capacidad de producción. Recuerda que recientemente se han empezado a producir distintos tipos de productos en su planta. Decide hacer una investigación y se da cuenta que la disminución en la producción se debe a los tiempos de preparación y cambio en los que ahora incurren las maquinas.

Como encargado de la planta decide implementar un sistema SMED en las maquinas.

### Modelos de simulación:

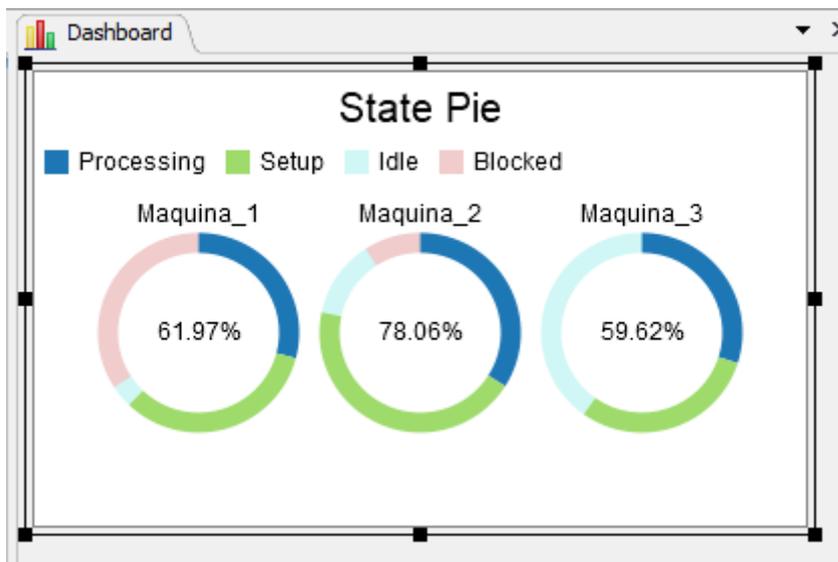
Modelo 1:

El primer archivo que debe usarse es Etapa\_Pre\_SMED, en este modelo aún no se ha implementado un sistema SMED. En la siguiente imagen se puede observar el modelo de simulación:



La distribución que se muestra en este modelo se mantendrá en los siguientes modelos también. En este modelo el source seguirá generando material que procesar. Los materiales generados por el source serán de distintos tipos. Tanto la generación como la asignación de tipos se hará de acuerdo con distribuciones probabilísticas.

En el modelo se pueden observar una variedad de visual texts los cuales despliegan información relevante a la simulación. El modelo también utiliza un dashboard el cual despliega los estados de los procesadores y sus porcentajes. En la siguiente imagen se pueden apreciar:



Los visual texts y el dashboard desplegaran la información necesaria para conducir la práctica.

Modelo 2:

El segundo modelo que se debe utilizar tiene el nombre de Etapa\_1\_SMED.

En el segundo modelo se cambiaron dos cosas, los tiempos de preparación de los procesadores, y los valores de dos de los visual texts. Los tiempos de preparación pueden ser cambiados a conveniencia del educador. Los visual texts se ven de la siguiente manera:

*Actividades Internas: 4*

*Actividades Externas: 3*

Modelo 3:

El tercer modelo que se debe utilizar tiene el nombre de Etapa\_2\_SMED.

Nuevamente los únicos cambios realizados fueron a los tiempos de preparación y los valores de los visual texts. Estos leen de la siguiente manera:

**Actividades Internas: 2**

**Actividades Externas: 5**

Fuera de esto no se realizaron más cambios al modelo.

### **Practica:**

Para empezar esta práctica se recomienda realizar un pequeño repaso del tema SMED. Una vez haya terminado con el breve repaso, proceda a abrir el modelo de simulación.

Se recomienda que al abrir el modelo y compartir con los estudiantes el escenario el cual el modelo está simulando. Luego de hacer esto explique a sus estudiantes como se conectan los objetos y cuál es la función de los operarios. Es importante que explique a los estudiantes que valores está desplegando cada uno de los visual texts.

**Importante:** Debe hacer énfasis en los pasos para aplicar SMED. De similar manera recordar la importancia de diferenciar una actividad interna de una externa.

Cuando los estudiantes estén listos, deje correr la simulación. Utilice una velocidad de simulación que le permita los estudiantes analizar que está ocurriendo. Se recomienda que atraiga la atención de los estudiantes a los valores cambiantes de los visual texts.

Al finalizar la corrida, pida a los estudiantes que den sus opiniones acerca de lo que observaron en la simulación. Procure que los estudiantes tengan en mente los valores de los visual texts. Luego de discutir con los estudiantes, mencione la cantidad de actividades que se realizan para el cambio de moldes. Especialmente genere atención en el número de actividades internas.

**Importante:** A pesar de que se despliega con visual text el porcentaje de tiempo que se pasa preparando la máquina, asegúrese de utilizar los gráficos del dashboard, y explicar a sus estudiantes que significa cada estado.

En este punto hay que hacer énfasis en la importancia de seguir los pasos establecidos para la aplicación de SMED. Los modelos hacen énfasis en la conversión de actividades internas a externas.

Al terminar de discutir y explicarle a los estudiantes la importancia de cada uno de los pasos, abra el siguiente modelo de simulación. De igual manera corra la simulación a una velocidad adecuada, para que se pueda apreciar las pequeñas diferencias. Al finalizar la simulación, haga un comparativo de los valores y gráficos de ambos modelos. Utilice esta oportunidad para explicar cómo SMED impacta un proceso productivo.

Luego abra el tercer y último modelo de simulación. La dinámica es igual que con el modelo anterior. Deje correr la simulación. Al finalizar la simulación haga comparativo de los resultados de las tres simulaciones. Utilice los últimos momentos para explicar cualquier duda que haya quedado en los estudiantes.

**Recomendación:** Se recomienda que se haga énfasis en los beneficios de la implementación de SMED en un proceso productivo y como este es esencial en la aplicación de otras técnicas y herramientas de Lean Manufacturing.

## **Practica de simulación 4: Heijunka y Takt Time**

### **Objetivos:**

- Ver los efectos de la aplicación y no aplicación de Heijunka en una planta de producción.
- Poner en práctica el uso de nivelación de producción por volumen y tipo.
- Poner en práctica takt time y ver sus beneficios.

**Duración de practica:** 1 hora a 1 hora con 15 minutos

**Numero de modelos:** 4

### **Escenario de simulación:**

Una planta de producción hace 3 tipos de accesorios para automóviles. Los accesorios se clasifican como tipo A, B y C. En la planta se trabajan turnos de 8 horas, 5 días a la semana. A los empleados se les da 30 minutos para el almuerzo y 15 minutos de receso. Se calcula que la demanda semanal se distribuye de la siguiente manera:

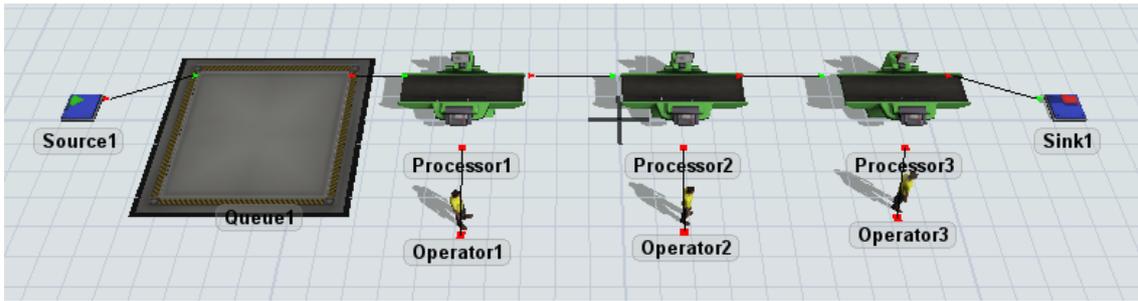
400 unidades lunes, 300 unidades martes, 350 unidades miércoles, 300 unidades jueves, 350 unidades viernes.

- 570 unidades del producto tipo A
- 650 unidades del producto tipo B
- 480 unidades del producto tipo C

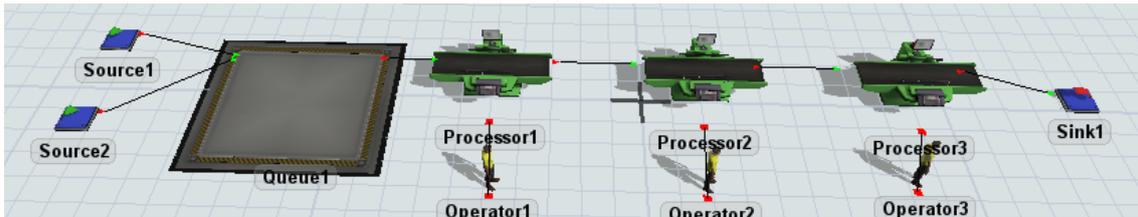
### **Modelos de simulación:**

Modelos antes de aplicar Heijunka:

En esta práctica se utilizan 3 de los modelos de manera conjunta. Los modelos representan 3 días consecutivos de producción en la planta. Todos los modelos siguen la misma distribución básica. El único modelo que cambia es el modelo de simulación llamado Heijunka\_0\_martes. Los primeros 3 modelos se pueden apreciar en las siguientes imágenes:



Heijunka\_0 (modelo 1)



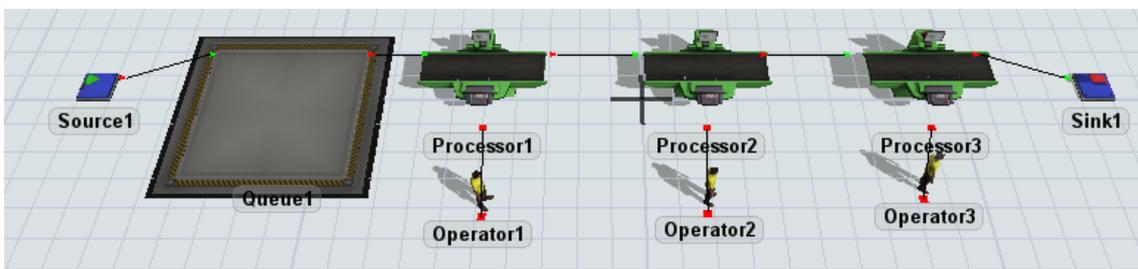
Heijunka\_0\_martes (modelo 2)

El tercer modelo, nombrado Heijunka\_0\_miercoles se ve exactamente igual al primer modelo Heijunka\_0. En el modelo 1 y 3 el source genera solo un tipo de producto, en el modelo 1 es el producto tipo A y en el modelo 3 se genera el producto tipo B. El modelo 1 genera un total de 400 piezas y modelo 3 genera un total de 350 piezas.

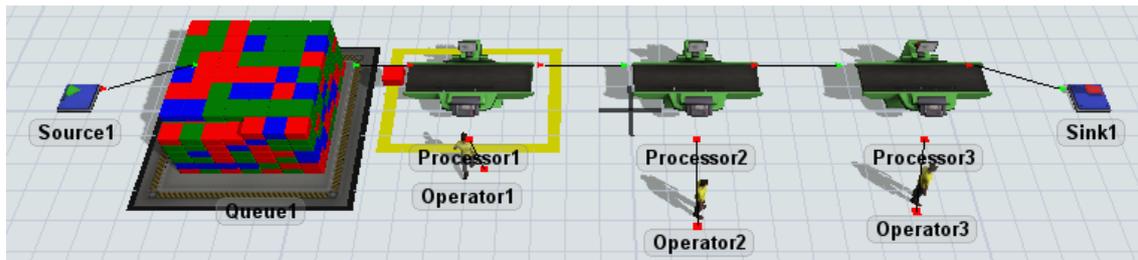
El modelo 2 cuenta con 2 sources para generar dos tipos de productos. Uno de los sources genera el producto tipo A y el otro genera el producto tipo B. Este modelo está configurado para generar 300 piezas, pero puede estar sujeto a cambios (vea la sección de practica).

Modelo con Heijunka implementado:

El modelo en cual ya se implementó una nivelación de producción, así como el uso del takt time se llama Heijunka\_1



La distribución es la misma utilizada para el primer modelo. Sin embargo, este modelo no está configurado de la misma manera que el modelo 1. En este modelo se generan los tres tipos de producto, como se puede apreciar en la siguiente imagen:



La generación de distintos tipos de productos no es la única diferencia. Los procesadores trabajan de acuerdo con el takt time.

### **Practica:**

Para empezar esta práctica se recomienda realizar un pequeño repaso del tema Heijunka. Una vez haya terminado con el breve repaso, proceda a abrir los primeros 3 modelos de simulación.

Se recomienda que abra los modelos y comparta con los estudiantes el escenario que se está simulando. Luego de hacer esto explique a sus estudiantes cómo funciona el primer modelo, cómo se conectan los objetos y cómo se estará produciendo en cada modelo. Es importante que los estudiantes entiendan que el plan de producción se seguirá cada día. Los primeros tres modelos producirán de acuerdo con los pronósticos mostrados en el enunciado.

**Recomendación:** Se recomienda que saque junto con los estudiantes el tiempo real de trabajo en un día, esto para evitar confusiones luego.

Una vez haya explicado a los estudiantes cómo funcionarían los modelos puede hacer correr la primera simulación. Todas las simulaciones tienen un tiempo límite que corresponde al tiempo disponible para trabajar en una jornada de trabajo. Al finalizar la corrida de la simulación, no todas las piezas habrán sido terminadas. En este momento se le debe pedir a los estudiantes que decidan cómo proceder en relación con las piezas no terminadas.

**Nota:** Si los estudiantes deciden acarrear estas unidades al siguiente día de producción, hacer los cambios necesarios a la configuración de los sources.

Abra el segundo modelo de simulación. Dependiendo de la decisión de los estudiantes puede que haya que realizar algunos cambios. Luego de realizar los cambios, corra la simulación. Al finalizar la simulación abra el siguiente modelo de simulación.

**Importante:** En el segundo modelo de simulación habrá una gran cantidad de tiempo sobrante. Asegúrese de dirigir la atención de los estudiantes a este dato.

Una vez abierto el tercer modelo de simulación deje correr la simulación hasta que termine. Nuevamente sobrara tiempo en el reloj de la simulación.

Al terminar las primeras tres simulaciones, empiece a discutir con los estudiantes acerca de lo que observaron en la simulación, particularmente acerca de la producción. es recomendable tratar de dar una opinión desde el punto de vista de los operadores de las maquinas.

Al finalizar la discusión, regrese al enunciado y lleve a cabo la nivelación de la producción para este enunciado. También deben calcular el takt time para la demanda en cuestión. Al terminar de obtener los datos necesarios, abra el último modelo de simulación.

Tómese unos segundos para mostrar a los estudiantes como cambiaron las configuraciones en relación con los modelos anteriores. Asegúrese de mostrar a los estudiantes los tiempos de procesamiento y los tiempos de cambio para los procesadores. Al terminar corra la simulación. Una vez finalizada la simulación inicie una discusión con sus estudiantes relacionado con los beneficios de utilizar Heijunka en un sistema de producción.

**Recomendación:** Para aclarar el tema de takt time puede hacer una comparación entre el primer y cuarto modelo. El primer modelo no logra terminar las 400 unidades a pesar de trabajar más rápido que el takt time indica ya que no hay tiempos de cambio involucrados. Utilice esta comparación para hacer énfasis en la relación del tiempo con la demanda.

**Recomendación:** Debido a que Heijunka es una de las técnicas más avanzadas en Lean Manufacturing, puede usar esta oportunidad para relacionar la implementación de Heijunka con otras técnicas y herramientas vistas previamente en clase.

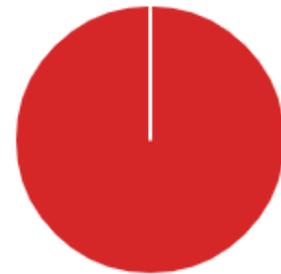
Los simuladores y el manual de las practicas se pusieron a la disposición del ingeniero docente. Se le pidió al ingeniero docente que utilizara los modelos y que leyera el manual de las practicas con los simuladores. Al terminar de utilizar los simuladores y leer el manual, se le aplico al docente una encuesta de opinión. La encuesta sirvió para obtener la opinión del docente al igual que comentarios para potenciales mejoras a los simuladores y el manual.

La primera pregunta de la encuesta se centró en la opinión general de los simuladores. En la ilustración 44 aparece la respuesta del docente encuestado. De manera general, la opinión del docente fue una positiva. Los simuladores le gustaron al docente.

### 1. De manera general ¿Qué piensa de los modelos de simulación?

[Más detalles](#)

● No me gustaron en absoluto	0
● No me gustaron	0
● Neutral	0
● Me gustaron	1
● Me gustaron mucho	0



**Ilustración 44: Pregunta 1 encuesta a docente**

Fuente: Elaboración propia

Las siguientes preguntas de la encuesta fueron destinadas a la opinión del docente con respecto a cada uno de los simuladores. Se formularon tres preguntas para cada simulador. Una pregunta fue para la opinión general de los simuladores, la siguiente fue para obtener comentarios de mejoras a los simuladores y la tercera fue para obtener la opinión del docente en cuanto a la capacidad de los simuladores de enseñar los temas designados. En las ilustraciones 45 a la 47 se muestran las respuestas a estas preguntas por parte del docente:

## 2. ¿Qué pensó de los modelos dedicados al tema 5s?

[Más detalles](#)

● No me gustaron en absoluto	0
● No me gustaron	0
● Neutral	1
● Me gustaron	0
● Me gustaron mucho	0



**Ilustración 45: Pregunta 2 encuesta a docente**

Fuente: Elaboración propia

## 3. Si los modelos de simulación no le gustaron ¿Por qué?

1 Respuestas

Id. ↑	Nombre	Respuestas
1	anonymous	Los modelos pueden ser útiles para explicar visualmente 5S. Me parece que las mejoras en KPI "tiempo en que se produce 12" no son verdaderamente debidas a las acciones para implementación de 5S.

**Ilustración 46: Pregunta 3 encuesta a docente**

Fuente: Elaboración propia

## 4. ¿Considera que son apropiados para el reforzamiento de la metodología 5s?

[Más detalles](#)

● Si	0
● No	0
● Tal vez	1



**Ilustración 47: Pregunta 4 encuesta a docente**

Fuente: Elaboración propia

La opinión del docente en cuanto a los simuladores para la metodología de las 5s es neutral. En la pregunta 3 explica su razonamiento detrás de su opinión. El docente hace la observación del indicador de desempeño utilizado en los simuladores y como

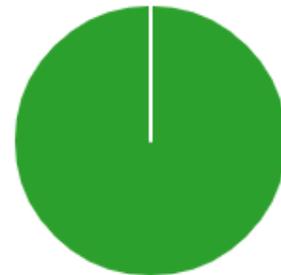
considera que el cambio en este no es debido a la aplicación de la metodología. La neutralidad de las respuestas y el comentario para la mejora de los simuladores indicaron dos cosas. La primera es que los simuladores para la metodología 5s tienen espacio para la implementación de mejoras. La segunda es que los simuladores como están tienen el potencial de ser una herramienta para la enseñanza de la metodología 5s.

Las siguientes tres preguntas son las mismas pero destinadas a los simuladores utilizados para enseñar Jidoka. Las ilustraciones 48 a la 50 contienen los resultados para las preguntas 5, 6 y 7 de la encuesta al docente:

### 5. ¿Qué pensó de los modelos dedicados al tema Jidoka?

[Más detalles](#)

<span style="color: blue;">●</span> No me gustaron en absoluto	0
<span style="color: orange;">●</span> No me gustaron	0
<span style="color: green;">●</span> Neutral	1
<span style="color: red;">●</span> Me gustaron	0
<span style="color: purple;">●</span> Me gustaron mucho	0



**Ilustración 48: Pregunta 5 encuesta para docente**

Fuente: Elaboración propia

### 6. Si los modelos de simulación no le gustaron ¿Por qué?

1 Respuestas

Id. ↑	Nombre	Respuestas
1	anonymous	Desde punto de vista de Jidoka, no está claro cuál es el efecto (positivo o negativo) del modelo 3 al agregar conveyors... Como sugerencia, en el primer modelo podría no detenerse las máquinas pero generar producto defectuoso. En modelo 2, al aplicar Jidoka se "para para corregir problemas" pero debería eliminar/reducir el producto defectuoso. Al final (en sink) mostrar conteo de bueno y defectuoso (ya sea en visual texts o con dashboards). ... De esta manera no solo se enfatiza en que en primer modelo no se identifica cuál fallo, sino que al no detenerse, no se corrigió problema y esto generó mucho defectuoso.

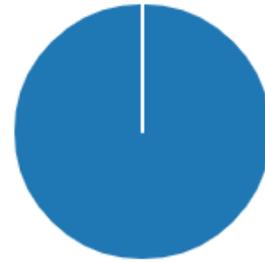
**Ilustración 49: Pregunta 6 encuesta para docente**

Fuente: Elaboración propia

7. ¿Considera que son apropiados para el reforzamiento del concepto de Jidoka?

[Más detalles](#)

● Si	1
● No	0
● Tal vez	0



**Ilustración 50: Pregunta 7 encuesta para docente**

Fuente: Elaboración propia

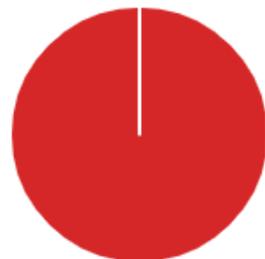
La opinión del docente en cuanto a los simuladores fue neutral, sin embargo, su opinión en cuanto a su capacidad para enseñar los conceptos de Jidoka fue positiva. Los comentarios de mejora que dejó en la encuesta apuntan a detalles que pudieron haber sido trabajados de mejor manera. No se tuvo inicialmente la consideración de desechar los elementos que se produjeran durante un fallo, lo que tiene el potencial de afectar la lección con los simuladores. El docente hizo la observación de no entender la función de las cintas transportadoras en el último modelo. En general los resultados para los simuladores utilizados para enseñar Jidoka fueron positivos.

Los simuladores que fueron los siguientes en ser evaluados fueron los utilizados en las prácticas de SMED. Los simuladores para este sistema obtuvieron una evaluación favorable por parte del docente. En las ilustraciones 51 a la 53 se muestran los resultados para las preguntas 8, 9 y 10 de la encuesta:

8. ¿Qué pensó de los modelos dedicados al tema SMED?

[Más detalles](#)

● No me gustaron en absoluto	0
● No me gustaron	0
● Neutral	0
● Me gustaron	1
● Me gustaron mucho	0



**Ilustración 51: Pregunta 8 encuesta a docente**

Fuente: Elaboración propia

### 9. Si los modelos de simulación no le gustaron ¿Por qué?

1 Respuestas

Id. ↑	Nombre	Respuestas
1	anonymous	Quizá valga la pena que 1er modelo no trabaje con One Piece Flow y que demuestre que un tiempo mucho más grande de preparación, obliga a trabajar con grandes lotes para aprovechar utilización de las máquinas. ... Dado que los modelos están orientados a mostrar el efecto de SMED y no a mostrar cómo implementarlo... quizá valga la pena incluir un "contexto" que explique en qué consistía la preparación al inicio y cuáles actividades internas se fueron convirtiendo en externas.

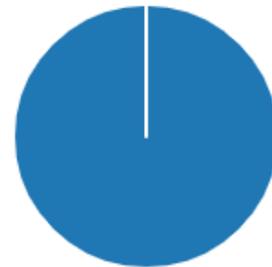
#### Ilustración 52: Pregunta 9 encuesta a docente

Fuente: Elaboración propia

### 10. ¿Considera que son apropiados para la enseñanza o reforzamiento de SMED?

[Más detalles](#)

● Si	1
● No	0
● Tal vez	0



#### Ilustración 53: Pregunta 10 encuesta a docente

Fuente: Elaboración propia

En las preguntas 8 y 10, el docente evaluó de manera favorable los simuladores de SMED. En su comentario el docente trae atención a algunos detalles que podrían ser cambiados para mostrar de mejor manera la temática de SMED. El comentario que más llamó la atención fue la sugerencia de agregar contexto a la implementación del sistema. En otros simuladores se utilizaron escenarios elaborados, sin embargo, no se preparó uno para los simuladores para la temática de SMED. La preparación de un escenario cuidadosamente elaborado tiene el potencial de mejorar significativamente la efectividad de los simuladores para este tema.

Los últimos simuladores en ser evaluados por el docente fueron los que correspondían al de tema de Heijunka y Takt Time. Estos simuladores fueron evaluados de manera

neutral por parte del docente. Las preguntas 11, 12 y 13 de la encuesta correspondieron a los simuladores para este tema. En las ilustraciones 54 a la 56 se muestran los resultados a estas preguntas:

### 11. ¿Qué pensó de los modelos dedicados a los temas Heijunka y Takt Time?

[Más detalles](#)

<span style="color: blue;">●</span> No me gustaron en absoluto	0
<span style="color: orange;">●</span> No me gustaron	0
<span style="color: green;">●</span> Neutral	1
<span style="color: red;">●</span> Me gustaron	0
<span style="color: purple;">●</span> Me gustaron mucho	0



**Ilustración 54: Pregunta 11 de encuesta a docente**

Fuente: Elaboración propia

### 12. Si los modelos de simulación no le gustaron ¿Por qué?

1 Respuestas

Id. ↑	Nombre	Respuestas
1	anonymous	La idea está bien... no obstante, sería ideal que el tiempo de producción de los diferentes tipos de productos no fuera el mismo. Adicionalmente, sería ideal mostrar en el modelo (de alguna manera) el funcionamiento del HEIJUNKA BOX. ... Sería además interesante mostrar el grado de incumplimiento de pedidos debidos a variación en la demanda, que podrían afectar los planes de producción realizados según pronóstico.

**Ilustración 55: Pregunta 12 de encuesta a docente**

Fuente: Elaboración propia

### 13. ¿Considera que son apropiados para la enseñanza o reforzamiento de Heijunka y Takt Time?

[Más detalles](#)

<span style="color: blue;">●</span> Si	0
<span style="color: orange;">●</span> No	0
<span style="color: green;">●</span> Tal vez	1



**Ilustración 56: Pregunta 13 de encuesta a docente**

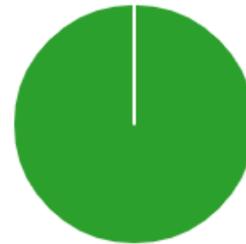
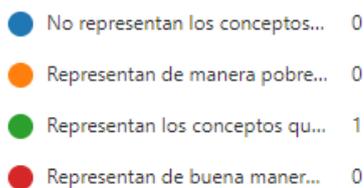
Fuente: Elaboración propia

La opinión del docente hacia los simuladores utilizados para enseñar el tema de Heijunka fueron neutrales. Analizando el comentario que dejó en la encuesta, esto se debió a que este tema es uno de los más complejos. Hubo algunos conceptos y técnicas que no fueron mostradas en los simuladores, los cuales son esenciales en el tema. Este tema fue el más grande y complejo cubierto entre los simuladores, por esa razón se consideró como el que tuvo el mayor potencial de mejora.

Las últimas preguntas tuvieron un enfoque general en cuanto a los simuladores. Hubo un énfasis en el uso de los simuladores y el manual de las prácticas como una alternativa para la clase de Sistema de Mejoramiento de Operaciones. Las ilustraciones 57, 58 y 59 muestran los resultados a las últimas tres preguntas de la encuesta.

14. ¿Considera que los modelos representan los conceptos que desean ayudar a conferir?

[Más detalles](#)

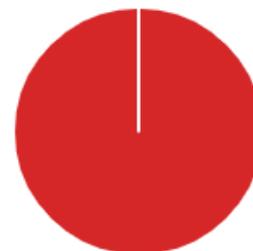
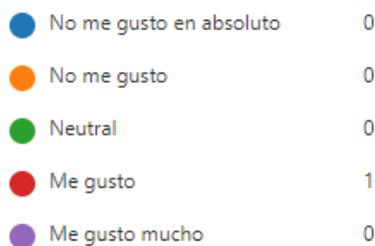


**Ilustración 57: Pregunta 14 de encuesta a docente**

Fuente: Elaboración propia

15. De manera general ¿Qué piensa del manual para las prácticas con las simulaciones?

[Más detalles](#)



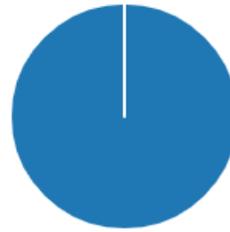
**Ilustración 58: Pregunta 15 de encuesta a docente**

Fuente: Elaboración propia

16. Tomando en cuenta que son un complemento para reforzar y afianzar los conocimientos en cuestión ¿Considera que las prácticas de simulación son una buena alternativa para la modalidad virtual, al no poder realizar prácticas de laboratorio normales?

[Más detalles](#)

● Si	1
● No	0
● Tal vez	0



**Ilustración 59: Pregunta 16 de encuesta a docente**

Fuente: Elaboración propia

En general se observó que la opinión del docente hacia los simuladores y el manual fue una favorable.

Los resultados de la encuesta al docente dejaron claro muchas cosas acerca de los simuladores y el manual. Lo primero que se identificó es que, como método de reforzamiento, los simuladores y el manual en su estado actual pueden funcionar como una herramienta para enseñar. En algunos de los simuladores la opinión del docente fue que tal vez servían para enseñar, esto se debió a una serie de observaciones que hizo acerca de los simuladores. Sin embargo, siempre hubo una afirmación en los comentarios de que si servían para transmitir algunos conceptos.

Lo segundo y lo más importante, fue el potencial de mejora que hay con cada simulador. Cada simulador tuvo limitantes y detalles que con mayor tiempo pudieron ser afinados aún más. Los comentarios proporcionados por el docente permitieron ver las posibles mejoras a los simuladores. Estas mejoras tienen el potencial de convertir los simuladores en herramientas de enseñanza y aprendizaje más robustas. Los simuladores, en el estado en que fueron utilizados para las prácticas, a pesar de servir para las mismas, no están aún en su estado óptimo.

## VI. CONCLUSIONES

1. Se creó un total de 11 modelos de simulación para 4 escenarios de simulación distintos. Tres de los cuatro escenarios constaron de tres modelos de simulación. 5s, Jidoka y SMED tuvieron tres modelos de simulación. Los tres escenarios siguieron el mismo formato. El primer modelo muestra el escenario antes de la aplicación de la técnica correspondiente, el segundo un punto medio y el último la implementación completa. El último escenario, dedicado a Heijunka y Takt Time tuvo cuatro modelos para representar los efectos de la aplicación y no aplicación de estas técnicas.
2. Los simuladores probaron ser efectivos en la transmisión de conocimiento. En el orden en que se impartieron las clases y prácticas (5s, Jidoka, SMED, Heijunka), los promedios de las notas fueron las siguientes para las clases: 53.25, 70, 81.5, y 62.13. Para los estudiantes de las prácticas fueron: 72.08, 75, 82.91 y 74.6. Para el tema de las 5s hubo una diferencia significativa en las notas de la prueba, en el tema Heijunka, hubo una diferencia significativa en el ejercicio de aplicación, demostrando la efectividad de los simuladores. Para los temas Jidoka y SMED no se encontró una diferencia significativa entre los promedios.
3. Los estudiantes encuestados mostraron una opinión positiva hacia los simuladores. En las encuestas de satisfacción la mayor parte de las respuestas fueron positivas hacia los simuladores. El docente que evaluó los simuladores tuvo una postura neutral en sus opiniones, sin embargo, consideró que los simuladores tienen el potencial de ser útiles en un ambiente educativo, sobre todo con algo más de trabajo. En las preguntas individuales para cada simulador su opinión fue neutral en 3 de 4 casos. El único caso positivo fue para el tema SMED.

## VII. RECOMENDACIONES

1. Debido a la inhabilidad de los estudiantes de interactuar directamente con el simulador es recomendable utilizar una alternativa más amigable con los estudiantes. La interacción directa es más enriquecedora desde un punto de vista pedagógico. La oportunidad de jugar y experimentar por su cuenta con el simulador antes de tener que seguir las guías impuestas ayuda a la comprensión de los temas cubiertos.
2. Es recomendable realizar una serie de pruebas piloto con personas que ya tengan conocimientos de los temas. Diversos aspectos de los temas a cubrirse pueden ser omitidos por descuidos, las pruebas piloto ayudan a evitar estos problemas.
3. Trabajar con grupo de estudiantes más pequeños. Grupos más pequeños de estudiantes facilita el manejo de los mismo y genere un ambiente que promueve la participación. Mantener la atención del estudiante y su participación es vital para que las clases sean exitosas.
4. Utilizar una población de estudio con mayor tiempo en la carrera de Ingeniería Industrial y de Sistemas, en otras palabras, con un grado mayor de conocimiento. Esto permitiría la elaboración de escenarios mas complejos y más ricos en términos de metodología educativa.
5. Es recomendable realizar el experimento con un espacio de tiempo mayor. Con mayor cantidad de tiempo es posible crear simulaciones en el software flexsim que posean un mayor nivel de detalle. De igual manera permitiría planificar de mejor manera como se llevarían a cabo las practicas con los simuladores.

## **VIII. APLICABILIDAD/IMPLEMENTACIÓN**

Este trabajo de investigación puede ser aplicado en instituciones de educación superior que aprendan los temas de Lean Manufacturing. Este trabajo generó un manual de prácticas para el caso de que este se quisiera aplicar. Es importante mencionar que es necesario que la persona que desee aplicar esta investigación tenga acceso al software Flexsim y sepa utilizar el mismo. Se recuerda a los interesados en aplicarlo que esta fue una investigación con el propósito de comprobar la utilidad de estas prácticas como complemento a un programa de enseñanza de los temas cubiertos. Los resultados mostraron que pueden ser tan efectivos como una clase normal, no obstante, ese no fue el objetivo con el que fueron creados. Finalmente, a pesar de que el docente que evaluó los simuladores y las prácticas apuntó a una serie de potenciales mejoras, no significa que, en su estado actual, estos no sean efectivos como herramienta de enseñanza.

## **IX. EVOLUCIÓN DE TRABAJO ACTUAL/TRABAJO FUTURO**

Tomando en cuenta la opinión del ingeniero Mendel Nelson, docente que evaluó los simuladores, la siguiente etapa para esta investigación sería la implementación de las diversas sugerencias hechas por él. Debido a limitantes de tiempo algunos conceptos no fueron integrados en los simuladores. Implementando y realizando los cambios señalados los simuladores podrían ser herramientas más robustas como material didáctico.

Se considera también que el probar las prácticas con un mayor número de estudiantes podría ser beneficioso a la investigación. Modificación de las pruebas de conocimientos para ser un mejor instrumento de medición también es un área de mejora.

Esta investigación se dirigió al uso de la simulación para enseñar conceptos de Lean Manufacturing. Sin embargo, la simulación puede ser una herramienta efectiva para la enseñanza de otras temáticas dentro de la carrera de Ingeniería Industrial y de Sistemas. Bajo un formato de educación virtual, es posible utilizar una estrategia similar para enseñar Diseños de Experimentos. El uso de funciones probabilísticas da la oportunidad de plantear distintos experimentos de manera aleatoria.

Esta herramienta puede ser utilizada en otros campos de la ingeniería para la evaluación de cambios en los sistemas de una empresa. Ingenierías como la ingeniería química, eléctrica, mecánica y en energía podrían utilizarla en su currículum.

## X. BIBLIOGRAFÍA

ASALE, R.-, & RAE. (s. f.). *Simular | Diccionario de la lengua española*. «Diccionario de la lengua española» - Edición del Tricentenario. Recuperado 3 de agosto de 2020, de <https://dle.rae.es/simular>

Cabrerizo Diago, J., Rubio Roldán, J., & Castillo Arredondo, S. (s. f.). *El Prácticum en los Grados de Pedagogía, de Magisterio y de Educación Social*. Recuperado 3 de agosto de 2020, de <https://biblionlinereader.pearson.com.mx/9788483226636/>

Chiquito Tumbaco, C. A., & Suárez, A. (2015). "ANÁLISIS DEL EFECTO EN LA COMUNIDAD UNIVERSITARIA, DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SIMULADOR DE NEGOCIOS EN EL DEPARTAMENTO DE SIMULACIÓN DE LA FACULTAD DE CIENCIAS ADMINISTRATIVAS DE LA UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL, COMO MEDIO DE ENSEÑANZA APLICADA, PARA LA MEJORA CONTINUA DEL APRENDIZAJE DE LOS ESTUDIANTES" [UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL].

<http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/10747/1/TESIS%20FINAL.pdf>

Coleman, B. J., & Vaghefi, M. R. (1994). Heijunka (?): A key to the Toyota production system. *1994*, 35, 31.

Díaz, M., Zarate, R., & Román, R. (2018). Simulación Flexsim, una nueva alternativa para la ingeniería hacia la toma de decisiones en la operación de un sistema de múltiples estaciones de prueba. *Científica*, 22(2).

<https://www.redalyc.org/jatsRepo/614/61458109002/html/index.html>

*Flexsim 3D Simulation Software User Manual*. (2017). Flexsim Software Products, Inc.

García Dunna, E., García Reyes, H., & Cárdenas Barrón, L. E. (2006). *Simulación y análisis de sistemas con ProModel* (Primera). Pearson Educación.

<https://www.biblionline.pearson.com/Pages/BookRead.aspx>

- Garzón Quiroz, M. (2012). "LOS SIMULADORES DE NEGOCIOS COMO ALTERNATIVA DE DESARROLLO EMPRESARIAL" [Universidad Católica de Santiago de Guayaquil].  
<http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/76/1/T-UCSG-POS-MAE-2.pdf>
- Haque, S., & Chaudhuri, S. R. (2015). *Framework of Training for Lean Service*. 7.  
<https://search.proquest.com/docview/1733196657?accountid=35325>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la Investigación* (Sexta). McGraw Hill. <http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf>
- luga, M., & Kifor, C. (2013). Lean manufacturing: The when, the where, the who. *Land Forces Academy Review*, 18, 404-410.
- Kleim, E. M. (2019). Rethinking the Basics: Takt Time and Workload Balancing. 2019, 41, 30-32.
- Lindo Salado Echeverría, C., Saenz Angulo, P., De Benito Martín, J. H., & Galindo Melero, J. (2015). Aprendizaje del Lean Manufacturing mediante Minecraft: Aplicación a la herramienta 5S/Lean Manufacturing Learning by Minecraft: Application to the 5S tool. 2015, 16, 60-75. <http://dx.doi.org/10.17013/risti.16.60-75>
- OMS | ¿Qué es una pandemia? (s. f.). WHO. Recuperado 23 de julio de 2020, de [https://www.who.int/csr/disease/swineflu/frequently\\_asked\\_questions/pandemic/es/](https://www.who.int/csr/disease/swineflu/frequently_asked_questions/pandemic/es/)
- Pedrosa, C. M., Ramos Barbero, B., & Miguel, A. R. (2014). Spatial Visualization Learning in Engineering: Traditional Methods vs. A Web-Based Tool. 2014, 17, 142-157.
- Perez Rave, J. I. (2011). El avión de la muda: Herramienta de apoyo a la enseñanza-aprendizaje práctico de la manufactura esbelta. 2011, 173-182.
- Piaget, J. (s. f.). *PSICOLOGÍA Y PEDAGOGÍA*. 106.
- Salvador, I. R. (2018, marzo 8). *Estudio de caso: Características, objetivos y metodología*.  
<https://psicologiaymente.com/psicologia/estudio-de-caso>

- Triola, M. F. (2004). *Estadística* (Novena). Pearson Educación.  
<https://www.biblionline.pearson.com/Pages/BookRead.aspx>
- Villaseñor Contreras, A., & Galindo Cota, E. (2007). *Manual de Lean Manufacturing Guía básica* (Primera edición). Limusa.
- Walpole, R. E., Myers, R. H., Myers, S. L., & Ye, K. (2007). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias* (Octava). Pearson Educación.
- What is Takt Time and How to Define It?* (s. f.). Kanban Software for Agile Project Management. Recuperado 3 de septiembre de 2020, de <https://kanbanize.com/continuous-flow/takt-time>
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (2003). *Lean Thinking Banish Waste And Create Wealth In Your Corporation*. Simon & Schuster.
- Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. (1990). *The Machine That Changed The World*. Mcmillan Publishing Compañy.
- Yamamoto, K., Milstead, M., & Lloyd, R. (2019). *A Review of the Development of Lean Manufacturing and Related Lean Practices: The Case of Toyota Production System and Managerial Thinking*. 15, 21-40, 89-90.
- Zgodavova, K., & Bober, P. (2012). An Innovative Approach to the Integrated Management System Development: SIMPRO-IMS Web Based Environment. 2012, 16, 59-70.  
<http://dx.doi.org/10.12776/qip.v16i2.69>

## ANEXOS

### Anexo 1: Prueba de conocimientos 5s

### Prueba de conocimiento 5s

Nombre:

Número de cuenta:

Clase o Practica:

1. ¿Por qué la metodología se llama 5s? (8 puntos)

2. En la primera línea escriba la letra de la palabra que corresponde al termino japones. En la segunda línea escriba el orden en el cual se aplican las 5s. (8 puntos)

Seiso: \_\_\_ \_\_\_

a. Estandarizar

Shitsuke: \_\_\_ \_\_\_

b. Limpiar

Seiton: \_\_\_ \_\_\_

c. Clasificar

Seiketsu: \_\_\_ \_\_\_

d. Disciplina

Seiri: \_\_\_ \_\_\_

e. Ordenar

3. ¿Cuáles son algunos de los beneficios de utilizar 5s en un área de trabajo? Seleccione todas las opciones que apliquen. (Las opciones que elija, use la herramienta para resaltar texto) (8 puntos)

a. Disminuye movimientos innecesarios

b. Genera aumento en ventas

c. Aumenta la satisfacción del cliente

d. Reduce riesgos de accidentes.

e. Mayor nivel de existencias almacenadas

4. ¿Cuáles son algunos de los obstáculos de la implementación de las 5s en un área de trabajo? Seleccione todas las opciones que apliquen. (Las opciones que elija, use la herramienta para resaltar texto) (8 puntos)

- a. Muy poco espacio disponible
- b. Cantidad elevada de herramientas y objetos
- c. "Me pagan para trabajar no limpiar"
- d. Flujo lento de trabajo
- e. Desinterés por parte de los líderes

5. ¿Cuál de estas actividades se lleva a cabo en la ejecución de Seiton? Seleccione la respuesta correcta utilizando la herramienta para resaltar. (8 puntos)

- a. Señalizar las áreas de transición para vehículos de carga y las áreas para los demás empleados
- b. Separar herramientas, documentos de la empresa, planos y pequeños muebles (sillas, bancos, etc.)
- c. Realizar una inspección al final de cada semana y evaluar puestos de trabajo
- d. Utilizar un shadow board o tablero de herramientas para colocar las herramientas del área de trabajo
- e. Recoger y tirar en contenedor de desperdicio, los desperdicios resultantes del proceso.

6. En las oficinas de una empresa de animación y caricaturas se decidió emplear la metodología de las 5s. La mayor parte del trabajo de implementación ya ha sido realizado, solo hace falta la aplicar la última de las "s". Como jefe encargado de la división de dibujos animados se le pide que se asegure de llevar a cabo la última "s". ¿Cómo aplicaría esta última "s"? Seleccione la respuesta correcta utilizando la herramienta para resaltar. (20 puntos)

- a. Realizar inspecciones de las estaciones de trabajo al final de cada mes
- b. Pedir al personal de aseo que limpie
- c. Dar charlas a su equipo acerca de la importancia de las 5s
- d. Dedicar los primeros 30 minutos de cada jornada a limpiar y ordenar estaciones de trabajo
- e. Ninguna es correcta
- f. Opciones a y c son correctas
- g. Opciones a y d son correctas

7. Usted es un ingeniero industrial certificado para auditar la norma ISO-9001 que trabaja como contratista independiente. Hace poco termino con una serie de auditorías grandes y ha decidido tomarse unas semanas antes de empezar a evaluar más propuestas de proyectos. Al ir a su oficina a recoger algunos documentos se da cuenta que esta podría necesitar de un poco de limpieza y orden. En su oficina se encuentran documentos legales, manuales de gestión de calidad, y copias impresas de la norma ISO-9001. Entre otras cosas encuentra una cinta métrica, un desarmador, y muchos periódicos viejos. Todos estos objetos se encuentran regados por todas partes de la oficina. Por esto decide implementar las 5s en su oficina. ¿Cuál de estas opciones es la secuencia correcta en la aplicación de la metodología? (20 puntos)

- a. 1. Empezar limpiando la oficina, removiendo la suciedad y el polvo de los muebles y el piso. 2. Clasificar los objetos por frecuencia de uso e importancia. Los documentos separarlos por relevancia y antigüedad. Los objetos no relevantes colocarlos a un lado para desechar luego. 3. Rotular los archivadores y sus gavetas. Rotular las gavetas de su escritorio. Marcar con tape las ubicaciones donde irán los archivadores. 4. Guardar y ordenar los objetos de acuerdo con la rotulación realizada previamente. 5. Colgar un calendario en la pared y resaltar los días que realizara limpieza y revisión de documentos en el año.

b. 1. Colgar un calendario en la pared y resaltar los días que realizara limpieza y revisión de documentos en el año. 2. Guardar los documentos en lo archivadores encontrados en su oficina. Colocar herramientas en un estante de fácil acceso. 3. Llevar a cabo una limpieza del lugar, eliminando polvo y suciedad. 4. Separar los archiveros por antigüedad e importancia de los documentos adentro. 5. Rotular los archiveros de acuerdo con la clasificación realizada en el paso anterior.

c. 1. Clasificar los objetos por frecuencia de uso e importancia. Los documentos separarlos por relevancia y antigüedad. Ubicar los objetos no relevantes a un lado para desechar luego. 2. Organizar los documentos en archiveros de acuerdo con la clasificación previamente realizada. Colocar herramientas en un estante de fácil acceso. 3. Llevar a cabo una limpieza del lugar, eliminando polvo y suciedad. Desechar los objetos que se consideraron irrelevantes en el paso 1. 4. Rotular los archiveros y sus gavetas. Rotular las gavetas de su escritorio. Marcar con tape las ubicaciones donde irán los archiveros. 5. Colgar un calendario en la pared y resaltar los días que realizara limpieza y revisión de documentos en el año.

8. Identifique que paso de la metodología 5s se está aplicando o deberá aplicar en la imagen y numere la imagen para indicar el orden en que se efectúa el paso. (20 puntos)



Respuesta:



Respuesta:



Respuesta:



Respuesta:



Respuesta

Fuente: Elaboración Propia

## **Anexo 2: Prueba de conocimientos Jidoka**

### **Prueba de conocimiento Jidoka**

Nombre:

Número de cuenta:

Clase o Practica:

1. ¿Qué es jidoka? Seleccione la o las respuestas correctas utilizando la herramienta para resaltar texto. (10 puntos)

- a. Automatización de procesos
- b. Técnica para agilizar producción
- c. Automatización con toque humano
- d. Automatización completa de los procesos de producción

2. ¿Cuál o cuáles de las siguientes son funciones de Jidoka? Seleccione la o las respuestas correctas utilizando la herramienta para resaltar texto. (10 puntos)

- a. Parar de manera automática la operación donde se generó el error
- b. Agilizar el proceso de preparación de una máquina
- c. Eliminar desperdicios de espacio y movimiento
- d. Ayudar a solucionar problemas desde la causa raíz
- e. Mejorar la comunicación con el cliente externo

3. ¿Cuál de los siguientes enunciados no es cierto acerca de Jidoka? Seleccione la o las respuestas correctas utilizando la herramienta para resaltar texto. (10 puntos)

- a. Detiene de manera automática el proceso
- b. Nunca detiene la línea de producción ya que genera perdidas
- c. Utiliza tableros andon
- d. Protege la calidad de los productos

4. ¿Cuál o cuáles de estas herramientas se utilizan con Jidoka? Seleccione la o las respuestas correctas utilizando la herramienta para resaltar texto. (10 puntos)

- a. Karakuri
- b. Poka Yoke
- c. SMED
- d. Kanban
- e. Andon

5. Se le ha pedido que implemente Jidoka en su planta de producción. No obstante, no cuenta con suficientes recursos para hacer una implementación adecuada y profunda de este sistema. Por esta razón se enfoca en implementar las primeras dos etapas del sistema. ¿Cuáles son estas **dos** etapas que implementara? Seleccione la o las respuestas correctas utilizando la herramienta para resaltar texto. (20 puntos)

- a. Instalar cintas transportadoras entre estaciones de trabajo
- b. Instalar un sistema de paro automatizado en cada estación de trabajo
- c. Instalar un tablero de luces que conecte a todas las estaciones y que despliegue el estado en que se encuentra cada estación.
- d. Instalar sistemas poka yoke en cada estación de trabajo
- e. Instalar un faro con luces de distintos colores en cada estación

6. ¿Cuál de las siguientes es la secuencia correcta del funcionamiento de Jidoka? Seleccione la o las respuestas correctas utilizando la herramienta para resaltar texto. (20 puntos)

- a. 1. Detener toda la línea de producción 2. Localizar el fallo 3. Implementar soluciones rápidas para tratar síntomas 4. Realizar eventos kaizen para encontrar causa raíz.
- b. 1. Localizar fallo 2. Implementar soluciones rápidas para tratar síntomas 3. Realizar eventos kaizen para encontrar causa raíz.

c. 1. Localizar fallo 2. Detener operación 3. Emitir una señal o alerta de que ocurrió un fallo 4. Implementar soluciones rápidas para tratar síntomas 5. Realizar eventos kaizen para encontrar causa raíz.

d. 1. Localizar fallo 2. Detener operación 3. Implementar soluciones rápidas para tratar síntomas 4. Realizar eventos kaizen para encontrar causa raíz.

7. ¿Cuál es la diferencia entre Jidoka y Poka Yoke? Seleccione la o las respuestas correctas utilizando la herramienta para resaltar texto. (10 puntos)

a. Jidoka es una medida preventiva y poka yoke es una medida correctiva

b. No hay diferencia, ambas son medidas preventivas

c. Jidoka es una medida correctiva y poka yoke es una medida preventiva

d. No hay diferencia, ambas son medidas correctivas

8. ¿Cuál es la función de un poka yoke? Seleccione la o las respuestas correctas utilizando la herramienta para resaltar texto. (10 puntos)

a. Evitar errores conocidos

b. Corregir defectos

c. Comunicar defectos

d. Ninguna es correcta

e. a y b son correctas

Fuente: Elaboración propia

### **Anexo 3: Prueba de conocimientos SMED**

## **Prueba de conocimiento SMED**

Nombre:

Número de cuenta:

Clase o Practica:

1. ¿Qué significan las siglas SMED? (10 puntos)

2. ¿Cuál es el objetivo principal de SMED? Seleccione la respuesta correcta. Utilice herramienta para resaltar texto. (10 puntos)

- a. Reducir el tiempo de transporte en una línea de producción
- b. Reducir el tiempo de operación de una maquina
- c. Reducir el tiempo de cambio en una máquina de producción
- d. Ninguna es correcta
- e. a y b son correctas

3. ¿Qué es una actividad interna? Seleccione la respuesta correcta. Utilice herramienta para resaltar texto. (10 puntos)

- a. Actividad que se solo se puede hacer con la maquina parada
- b. Actividades de mantenimiento al final de la jornada laboral
- c. Actividad de limpieza de la maquina
- d. Actividad que se puede realizar con la maquina en marcha

4. ¿Qué es una actividad externa? Seleccione la respuesta correcta. Utilice herramienta para resaltar texto. (10 puntos)

- a. Actividades de mantenimiento realizadas por agentes externos a la empresa

- b. Actividad que se solo se puede hacer con la maquina parada
- c. Actividad que se puede realizar con la maquina en marcha
- d. Actividad de cuidado superficial de la maquina

5. Son beneficios de la implementación exitosa de SMED. Seleccione la respuesta correcta. Utilice herramienta para resaltar texto. (10 puntos)

- a. Niveles de inventarios menores
- b. Lotes más grandes
- c. Mejor capacidad de respuesta a la demanda de los clientes
- d. Aumenta la demanda del cliente
- e. a y c son correctas
- f. c y d son correctas
- g. Ninguna es correcta

6. ¿Cuál de estas secuencias es la correcta en la implementación de SMED? Seleccione la respuesta correcta. Utilice herramienta para resaltar texto. (10 puntos)

- a. 1. Preparación previa.                    2. Analizar actividad.                    3. Separar las actividades en internas y externas.                    4. Organizar actividades externas.                    5. Convertir actividades internas en externas.                    6. Reducir tiempos internos.                    7. Seguimiento
- b. 1. Analizar actividad.    2. Separar las actividades en internas y externas.                    3. Organizar actividades externas.                    4. Reducir tiempos internos.                    5. Seguimiento
- c. 1. Preparación previa.                    2. Analizar actividad.                    3. Organizar actividades externas.                    4. Convertir actividades externas en internas.                    5. Reducir tiempos internos.                    6. Seguimiento
- d. 1. Preparación previa.                    2. Analizar actividad.                    3. Separar las actividades en internas y externas.                    4. Organizar actividades externas.                    5. Convertir actividades internas en externas.

7. Usted es un ingeniero de planta que trabaja para una empresa que produce pieza de focos para carros. Su superior escucho acerca de SMED y ha decidido que quiere que usted se encargue de la implementación de la técnica en la planta. Después de analizar todas las actividades para el cambio de matrices de producción en las maquina decide que esta listo para comenzar con la implementación. ¿En cuál de estas actividades se enfocaría primero? Seleccione la respuesta correcta. Utilice herramienta para resaltar texto. (10 puntos)

- a. Reducir el tiempo de las actividades internas
- b. Reducir el tiempo de todas las actividades de cambio de preparación
- c. Organizar las actividades externas
- d. Convertir actividades internas en externas

8. Cambiar la llanta de un vehículo puede ser considerada una actividad a la cual se le puede implementar la técnica SMED. Imagínese que va conduciendo y cae en hoyo y daña una de sus llantas. Usted llama a un amigo que tiene un taller y se encuentra cerca de su ubicación. Su amigo le decía que, con cuidado, trate de llegar a su taller para cambiarle la llanta, que él tiene una de repuesto en el taller. A continuación, se le presentara una serie de actividades. Determine si las actividades son internas o externas. Escriba una (I) para actividades internas y una (E) para las actividades externas. (30 puntos)

Colocar la gata debajo del vehículo.

Respuesta:

Alistar las herramientas necesarias para llevar a cabo el cambio de la llanta.

Respuesta:

Alistar la llanta que se utilizara como repuesto de la llanta dañada.

Respuesta:

Levantar el vehículo utilizando la gata.

Respuesta:

Remover los pernos sujetando la llanta dañada.

Respuesta:

Fuente: Elaboración propia

#### Anexo 4: Prueba de conocimientos Heijunka

### Prueba de conocimiento Heijunka

Nombre:

Número de cuenta:

Clase o Practica:

1. ¿Con que propósito se implementa Heijunka en una planta de producción? Seleccione la o las respuestas. Utilice la herramienta para resaltar texto para escoger su respuesta. (12 puntos)

- a. Para aumentar la capacidad de producción
- b. Evitar sobreproducción
- c. Mayor flexibilidad en el proceso
- d. Para poder implementar SMED

2. ¿En qué aspecto de la producción se debe aplicar la técnica de heijunka? Seleccione la o las respuestas. Utilice la herramienta para resaltar texto para escoger su respuesta. (12 puntos)

- a. En la distribución de la planta de producción
- b. En la estrategia de venta
- c. Flujo de la producción
- d. Capacidad de la producción

3. ¿Qué es takt time? Seleccione la o las respuestas. Utilice la herramienta para resaltar texto para escoger su respuesta. (12 puntos)

- a. Tiempo total desde que una pieza entra a la línea de producción hasta que sale
- b. Tiempo de preparación de una maquina

- c. Tiempo en cual se debe producir un articulo para satisfacer la demanda
- d. Tiempo entre salidas de producto
- e. Tiempo desde que se termina de procesar un producto hasta que llega al cliente

4. ¿Cuál de las siguientes es necesarias en el uso de la caja Heijunka? Seleccione la o las respuestas. Utilice la herramienta para resaltar texto para escoger su respuesta. (12 puntos)

- a. Tableros andon
- b. células de trabajo
- c. Tarjetas Kanban
- d. Ninguna es correcta
- e. Todas son correctas excepto la letra d

5. ¿Cuáles de los siguientes son requisitos para implementar de manera exitosa Heijunka? Seleccione la o las respuestas. Utilice la herramienta para resaltar texto para escoger su respuesta. (12 puntos)

- a. Caja Heijunka
- b. QFD (Quality Function Diagram)
- c. Alta capacidad de producción
- d. Takt Time
- e. Poka Yoke
- f. SMED
- g. Estudio de movimientos

6. Una planta de producción que se hace tarjetas de video para computadores calcula la demanda para el siguiente mes. La planta hace 5 diferentes tipos de tarjetas de video. En la planta los distintos tipos se denotan como modelo X, Y, Z, W, T. Basándose en datos y estadísticas de periodos anteriores se determina que la demanda será de la siguiente manera:

Modelo X: 690 unidades

Modelo Y: 760 unidades

Modelo Z: 570 unidades

Modelo W: 630 unidades

Modelo T: 650 unidades

En la planta se trabajan 22 días al mes y turnos de 8 horas. Los empleados tienen 30 minutos para almorzar y 15 minutos de receso. Obtenga el Takt time y elabore una nivelación de producción por volumen y tipo. ¿Cuántas unidades se deben producir por día? ¿Cuántas unidades de cada tipo se deben elaborar por día? Su gusta puede utilizar Microsoft Excel para responder las preguntas. (40 puntos)

Takt Time =

Unidades por día =

Unidades X por día =

Unidades Y por día =

Unidades Z por día =

Unidades W por día =

Unidades T por día =

Fuente: Elaboración propia

## Anexo 5: Encuesta de satisfacción para las prácticas de simulación

# Encuesta de satisfacción para las practicas de simulación

Hola, ALLAN ANTONIO: al enviar este formulario, el propietario podrá ver su nombre y dirección de correo electrónico.

1. De manera general ¿Qué pensó de las practicas con las simulaciones?

- No me gustaron en lo absoluto
- No me gustaron
- No me gustaron ni disgustaron
- Me gustaron
- Me gustaron mucho

### Ilustración 60: Parte 1 de Encuesta de satisfacción para los estudiantes

Fuente: Elaboración propia

2. Pregunta¿Qué pensó del escenario usado para la simulación de la metodología 5s? (taller de carpintería)

- Me pareció esencial a la practica
- Agrego un poco a la practica
- No agrego a la practica
- Me pareció innecesario

3. ¿Qué pensó del escenario usado para la simulación de Heijunka? (producción de accesorios para carros)

- Me pareció esencial a la practica
- Agrego un poco a la practica
- No agrego a la practica
- Me pareció innecesario

### Ilustración 61: Parte 2 de Encuesta de satisfacción para los estudiantes

Fuente: Elaboración propia

4. ¿Considera que las practicas con simulación son una buena forma de aprendizaje?

- Si
- No
- No estoy seguro/a

5. ¿Cuál de estas frases coincide más con su experiencia en las practicas?

- Los simuladores agregaron valor
- Los simuladores no agregaron valor
- Me sentí distraído por los simuladores

6. ¿Le gustaría que se empleara más la simulación como herramienta de aprendizaje?

- Si
- No
- Tal vez

### **Ilustración 62: Parte 3 Encuesta de satisfacción para los estudiantes**

Fuente: Elaboración propia

7. ¿Le gustaría tener acceso a los simuladores durante las practicas?

- Si
- No

8. ¿Considera que los simuladores representaron de manera efectiva los temas cubiertos?

- Si los representaron de manera efectiva
- Representaron algunos temas
- No representaron los temas de manera efectiva

9. ¿Le gustaría que se utilizara los simuladores en la clase de Sistemas de Mejoramiento de Operaciones?

- Si
- No

### **Ilustración 63: Parte 4 Encuesta de satisfacción para los estudiantes**

Fuente: Elaboración propia

## Anexo 6: Encuesta de opinión para docente

### Encuesta de opinión de docente

1. De manera general ¿Qué piensa de los modelos de simulación?

- No me gustaron en absoluto
- No me gustaron
- Neutral
- Me gustaron
- Me gustaron mucho

#### Ilustración 64: Parte 1 Encuesta a docente

Fuente: Elaboración propia

2. ¿Qué pensó de los modelos dedicados al tema 5s?

- No me gustaron en absoluto
- No me gustaron
- Neutral
- Me gustaron
- Me gustaron mucho

3. Si los modelos de simulación no le gustaron ¿Por qué?

Escriba su respuesta

#### Ilustración 65: Parte 2 Encuesta a docente

Fuente: Elaboración propia

4. ¿Considera que son apropiados para el reforzamiento de la metodología 5s?

- Si
- No
- Tal vez

5. ¿Qué pensó de los modelos dedicados al tema Jidoka?

- No me gustaron en absoluto
- No me gustaron
- Neutral
- Me gustaron
- Me gustaron mucho

### Ilustración 66: Parte 3 Encuesta a docente

Fuente: Elaboración propia

6. Si los modelos de simulación no le gustaron ¿Por qué?

Escriba su respuesta

7. ¿Considera que son apropiados para el reforzamiento del concepto de Jidoka? 

- Si
- No
- Tal vez

8. ¿Qué pensó de los modelos dedicados al tema SMED?

- No me gustaron en absoluto
- No me gustaron
- Neutral
- Me gustaron
- Me gustaron mucho

### Ilustración 67: Parte 4 Encuesta a docente

Fuente: Elaboración propia

9. Si los modelos de simulación no le gustaron ¿Por qué?

Escriba su respuesta

10. ¿Considera que son apropiados para la enseñanza o reforzamiento de SMED?

- Si
- No
- Tal vez

11. ¿Qué pensó de los modelos dedicados a los temas Heijunka y Takt Time?

- No me gustaron en absoluto
- No me gustaron
- Neutral
- Me gustaron
- Me gustaron mucho

### **Ilustración 68: Parte 5 Encuesta a docente**

Fuente: Elaboración propia

12. Si los modelos de simulación no le gustaron ¿Por qué?

Escriba su respuesta

13. ¿Considera que son apropiados para la enseñanza o reforzamiento de Heijunka y Takt Time?

- Si
- No
- Tal vez

14. ¿Considera que los modelos representan los conceptos que desean ayudar a conferir?

- No representan los conceptos que desean conferir
- Representan de manera pobre los conceptos que desean conferir
- Representan los conceptos que desean conferir en ciertos aspectos
- Representan de buena manera los conceptos que desean conferir

### **Ilustración 69: Parte 6 Encuesta a docente**

Fuente: Elaboración propia

15. De manera general ¿Qué piensa del manual para las practicas con las simulaciones?

- No me gusto en absoluto
- No me gusto
- Neutral
- Me gusto
- Me gusto mucho

16. Tomando en cuenta que son un complemento para reforzar y afianzar los conocimientos en cuestión ¿Considera que las prácticas de simulación son una buena alternativa para la modalidad virtual, al no poder realizar prácticas de laboratorio normales?

- Si
- No
- Tal vez

### **Ilustración 70: Parte 7 Encuesta a docente**

Fuente: Elaboración propia