



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

GRADO EN INGENIERÍA EN DISEÑO INDUSTRIAL Y DESARROLLO DE PRODUCTO

Estudio de redistribución de la planta de una panificadora mediante simulación

Autor:

López Bahón, Javier

Tutor:

Sanz Angulo, Pedro

Organización de Empresas y CIM

Valladolid, septiembre 2020.

Resumen

Dentro de la Panadería Bahón comenzaba a existir un problema con la distribución de las máquinas de su panificadora. El presente trabajo tiene como objetivo proponer una nueva distribución que pueda solventar los problemas actuales y que le permita a la empresa responder a las necesidades que deriven de un futuro crecimiento. Para argumentar la nueva propuesta se ha empleado el software de simulación Witness, con el que se ha creado un modelo de los procesos más relevantes de la panificadora. Tras validarlo, se han creado varios escenarios alternativos con diferentes propuestas. El estudio y comparativa de estos escenarios nos permite seleccionar la distribución que más beneficios aportará a la panificadora.

Palabras Clave

Simulación; Distribución; Modelo; Witness; Panadería Bahón.

Abstract

Inside the Panadería Bahón, there was beginning to be a problem with the distribution of the machines in their bakery. The present work aims to propose a new distribution that can solve current problems and that allows the company to respond to the needs that derive from future growth. To argue the new proposal, the Witness software has been used, with which a model of the most relevant processes of the bakery has been created. After validating it, several alternative scenarios have been created with different proposals. The study and comparison of these scenarios allows us to select the distribution that will bring the most benefits to the bakery.

Keywords

Simulation; Distribution; Model; Witness; Panadería Bahón.

Agradecimientos

Me gustaría agradecer a mi madre María Isabel Bahón y a mi tío Emilio Bahón el apoyo y la ayuda recibida durante la realización de este trabajo. Por brindarme la oportunidad de hacer el trabajo fin de grado sobre un tema tan importante para la familia como es la panadería. Por los consejos recibidos durante todo el proceso y, porque si no fuese por ellos este trabajo no habría existido nunca.

Agradecer la ayuda y esfuerzo de mi tutor Pedro Sanz, quien ha estado pendiente en todo momento de cómo iba realizando el trabajo para darme buenas directrices. Le doy las gracias por la disponibilidad ante las dudas y cuestiones surgidas.

También, agradecer a todos mis familiares porque, de alguna manera u otra, me han indicado cuál era el buen camino. Agradecerles también por aportarme las herramientas necesarias para ser una persona crítica e independiente.

Agradecimiento especial a mis padres Eduardo López y María Isabel Bahón, quienes han tenido que soportar todo tipo de adversidades y han sido capaces de hacer que hoy esté donde estoy. No me puedo olvidar de mi hermano Eduardo, el mejor hermano que pude haber tenido, desde pequeño dándome buenos consejos y apoyándome en todo lo que hiciese.

Por último, a mis compañeros de universidad con quienes he vivido momentos que nunca olvidaré. Algunos convirtiéndose en grandes amigos.

En fin, gracias a todos

Índice de contenidos

INTRODUCCIÓN	1
<i>Antecedentes.....</i>	<i>1</i>
<i>Motivación</i>	<i>2</i>
<i>Objetivo y alcance</i>	<i>3</i>
<i>Estructura de la memoria.....</i>	<i>4</i>
1. LA PANADERÍA BAHÓN	7
1. 1. <i>Introducción.....</i>	<i>7</i>
1. 2. <i>Historia</i>	<i>7</i>
1. 3. <i>Productos.....</i>	<i>10</i>
1. 4. <i>Clientes</i>	<i>14</i>
1. 5. <i>Plantilla.....</i>	<i>16</i>
2 SIMULACIÓN	19
2. 1. <i>Introducción.....</i>	<i>19</i>
2. 2. <i>Ventajas y desventajas de la simulación.....</i>	<i>20</i>
2. 3. <i>Aplicaciones</i>	<i>23</i>

2. 4.	<i>El modelo</i>	24
2. 5.	<i>El proceso de simulación</i>	25
2. 6.	<i>Software</i>	26
2. 6. 1.	Witness	29
2. 6. 2.	Elementos de Witness	30
3	LA PANIFICADORA: EL SISTEMA OBJETO DE ESTUDIO	37
3. 1.	<i>Introducción</i>	37
3. 2.	<i>Amasado</i>	41
3. 3.	<i>Manufactura de las barras</i>	45
3. 3. 1.	Pesado de la masa	45
3. 3. 2.	Almacenado y reposo de las bolas	47
3. 3. 3.	Transformación de bola a barra	49
3. 3. 4.	Movimiento de tableros	50
3. 4.	<i>Manufactura de las chapatas</i>	52
3. 4. 1.	Recogida de la masa	52
3. 4. 2.	Proceso de manufactura de las chapatas	52
3. 5.	<i>Proceso de horneado</i>	55
4	CONSTRUCCIÓN Y SIMULACIÓN DEL MODELO	63
4. 1.	<i>Introducción</i>	63
4. 2.	<i>Modelo</i>	64
4. 2. 1.	Amasadora	64
4. 2. 2.	Chapatas	68
4. 2. 3.	Fermentadora	71
4. 2. 4.	Barras	71
4. 2. 5.	Horneo	72
4. 2. 6.	Reparto	74
4. 3.	<i>Resultados y validación de la simulación</i>	75
5	ESCENARIOS ALTERNATIVOS: EVALUACIÓN Y ANÁLISIS	79
5. 1.	<i>Introducción</i>	79
5. 2.	<i>Mejoras a realizar</i>	79
5. 3.	<i>Adaptación de las mejoras al modelo</i>	82
5. 3. 1.	Aumentando el número de bocas del horno a 24 bocas	82
5. 3. 2.	Introduciendo un segundo horno con 12 bocas y una cinta que lo abastezca	83
5. 3. 3.	Escenario con dos hornos de 12 bocas, con una cinta para cada uno, el horno de aire y tres operarios horneando.	84
5. 3. 4.	Redistribuyendo la carga de horneado entre el horno principal y el de aire	85
5. 3. 5.	Utilizando únicamente dos hornos de 12 bocas con las dos cintas y los tres operarios	86
5. 3. 6.	Simulación con el doble de producción	87
5. 3. 7.	Omitiendo el proceso de reposo de las barras en los tableros grandes	88
5. 4.	<i>Conclusiones de los diferentes escenarios</i>	88
5. 5.	<i>Propuesta de nueva distribución en planta</i>	90

6 ESTUDIO ECONÓMICO	95
6.1. <i>Introducción.....</i>	95
6.2. <i>Planificación del proyecto.....</i>	96
6.3. <i>Costes del proyecto.....</i>	98
6.3.1. Costes directos.....	98
6.3.2. Costes Indirectos.....	101
6.3.3. Costes totales.....	102
CONCLUSIÓN Y LÍNEAS FUTURAS	103
<i>Introducción</i>	<i>103</i>
<i>Conclusiones.....</i>	<i>103</i>
<i>Líneas futuras.....</i>	<i>108</i>
BIBLIOGRAFÍA	111
<i>Libros:</i>	<i>111</i>
<i>Páginas web:.....</i>	<i>111</i>

Índice de Ilustraciones

<i>Ilustración 1. Molino de agua donde se inició la Panadería Bahón.....</i>	<i>8</i>
<i>Ilustración 2. Bocas por donde pasa el agua a las diferentes turbinas del molino.....</i>	<i>8</i>
<i>Ilustración 3. Actual centro de fabricación de Panadería Bahón.....</i>	<i>9</i>
<i>Ilustración 4. Barra, torta de aceite y chapata.....</i>	<i>11</i>
<i>Ilustración 5. Banasta con Bobos, Panetes y torta.....</i>	<i>12</i>
<i>Ilustración 6. Pan de bodas.....</i>	<i>12</i>
<i>Ilustración 7. Magdalenas, tortas mantecadas, bizcocho y pastas de Panadería Bahón.....</i>	<i>14</i>
<i>Ilustración 8. Restaurante La Caja.....</i>	<i>15</i>
<i>Ilustración 9. A la izquierda María Isabel Bahón y a la derecha Emilio Bahón.....</i>	<i>16</i>
<i>Ilustración 10. Simulador de vuelo.....</i>	<i>20</i>
<i>Ilustración 11. Comparativa del riesgo de inversión: Simulando Vs Sin Simular.....</i>	<i>22</i>
<i>Ilustración 12. Proyecto ITER en construcción. Imagen tomada de: xataka.com.....</i>	<i>24</i>
<i>Ilustración 13. Comparativa entre softwares de simulación. Imagen tomada en: http://softwaresdesimulacion.blogspot.com/.....</i>	<i>27</i>
<i>Ilustración 14. Arena Simulation. Imagen tomada en: https://www.arenasimulation.com/.....</i>	<i>27</i>
<i>Ilustración 15. Extendsim. Imagen tomada de: https://extendsim.com/.....</i>	<i>28</i>
<i>Ilustración 16. FlexSim. Imagen tomada de: https://www.flexsim.com/.....</i>	<i>28</i>
<i>Ilustración 17. Witness. Imagen tomada de: https://www.lanner.com/.....</i>	<i>28</i>
<i>Ilustración 18. Pantalla inicio de Witness.....</i>	<i>30</i>
<i>Ilustración 19. Distribución de la panificadora. Elaboración propia.....</i>	<i>38</i>

<i>Ilustración 20. Diagrama analítico de la panificadora</i>	<i>40</i>
<i>Ilustración 21. Amasadora</i>	<i>41</i>
<i>Ilustración 22. Diagrama analítico del proceso de Amasado</i>	<i>42</i>
<i>Ilustración 23. Contador de agua (cuenta litros).....</i>	<i>43</i>
<i>Ilustración 24. Amasadora volcando la masa</i>	<i>44</i>
<i>Ilustración 25. Diagrama analítico del proceso de manufactura de barras. Elaboración propia</i>	<i>46</i>
<i>Ilustración 26. Máquina Pesadora</i>	<i>47</i>
<i>Ilustración 27. Almacenadora</i>	<i>48</i>
<i>Ilustración 28. Almacenadora 2</i>	<i>48</i>
<i>Ilustración 29. Almacenadora depositando bolas de masa sobre la máquina de barras</i>	<i>49</i>
<i>Ilustración 30. Máquina de barras, cinta de salida</i>	<i>50</i>
<i>Ilustración 31. Tablero de reposo.....</i>	<i>50</i>
<i>Ilustración 32. Tablero y carro de aire.....</i>	<i>51</i>
<i>Ilustración 33. Amasadora preparada para sacar la masa de chapata</i>	<i>52</i>
<i>Ilustración 34. Diagrama analítico del proceso de manufactura de las chapatas.....</i>	<i>53</i>
<i>Ilustración 35 Máquina de hacer chapatas</i>	<i>54</i>
<i>Ilustración 36. Diagrama analítico del proceso horneo, en horno de aire.....</i>	<i>56</i>
<i>Ilustración 37 Diagrama analítico del proceso horneo, en el horno principal</i>	<i>57</i>
<i>Ilustración 38. Horno de Aire.....</i>	<i>58</i>
<i>Ilustración 39. Horno principal, a su derecha el hueco para el carro y frente a él la cinta</i>	<i>59</i>
<i>Ilustración 40. Carros de horno principal reposando en la fermentadora</i>	<i>59</i>
<i>Ilustración 41. Barras en la cinta siendo marcadas.....</i>	<i>60</i>
<i>Ilustración 42. Cinta colocando barras en el horno principal</i>	<i>60</i>
<i>Ilustración 43. Modelo de la amasadora.....</i>	<i>65</i>
<i>Ilustración 44. Cuadro de regla OUTPUT de la máquina Báscula.....</i>	<i>65</i>
<i>Ilustración 45. Cuadro de máquina Báscula</i>	<i>66</i>
<i>Ilustración 46. Regla de salida de la báscula, dentro de FLUID RULES</i>	<i>66</i>
<i>Ilustración 47. Ejemplo variable contador (Variables.Contador_Amasadora)</i>	<i>67</i>
<i>Ilustración 48. Modelo del procesado de chapatas.....</i>	<i>68</i>
<i>Ilustración 49. Regla INPUT de ViajeCanasta</i>	<i>69</i>
<i>Ilustración 50. Configuración de la máquina ConvertirAChapata</i>	<i>69</i>
<i>Ilustración 51 Acción al iniciar la máquina PasarATablos</i>	<i>70</i>
<i>Ilustración 52 Norma from de PasarATablos</i>	<i>70</i>
<i>Ilustración 53 Acciones al finalizar el proceso de PasarATablos</i>	<i>70</i>
<i>Ilustración 54. Modelado del proceso manufactura barras</i>	<i>71</i>
<i>Ilustración 55. Modelado del proceso de hornear</i>	<i>73</i>
<i>Ilustración 56. Input rule Cinta.....</i>	<i>74</i>
<i>Ilustración 57. Modelado de reparto.....</i>	<i>74</i>
<i>Ilustración 58. Barras y Chapatas producidas. Elaboración propia. Datos procedentes de la simulación.....</i>	<i>75</i>

<i>Ilustración 59. Operaciones de preparación de la amasadora. t. (tiempo por operación) Rep. (Repeticiones).....</i>	<i>76</i>
<i>Ilustración 60. Productos horneados por horno. Datos tomados de la simulación</i>	<i>77</i>
<i>Ilustración 61. Ocupación (%) de las máquinas que preparan la amasadora (Carro, Báscula, MeterSacos)</i>	<i>78</i>
<i>Ilustración 62. Estadísticas de los operarios, con una cinta independiente por horno.....</i>	<i>83</i>
<i>Ilustración 63. Estadísticas operarios con dos hornos, dos cintas y trabajando Emilio, Emiliano y Ramón</i>	<i>84</i>
<i>Ilustración 64. Estadísticas de los operarios repartiendo la carga de trabajo entre los dos hornos.....</i>	<i>85</i>
<i>Ilustración 65. Modelo de la panificadora con dos hornos y dos cintas</i>	<i>86</i>
<i>Ilustración 66. Estadísticas operarios, con dos cintas, tres operarios y sin el horno de aire.....</i>	<i>87</i>
<i>Ilustración 67. Carga de trabajo de los operarios realizando el doble de producción en un día</i>	<i>88</i>
<i>Ilustración 68. Nueva propuesta de distribución en planta.....</i>	<i>91</i>
<i>Ilustración 69. Flujo del material, de la antigua distribución</i>	<i>93</i>
<i>Ilustración 70. Flujo del material, de la nueva propuesta</i>	<i>93</i>

Índice de tablas

<i>Tabla 1. Estadísticas del Horno tras un día de producción con 24 bocas</i>	82
<i>Tabla 2. Estadísticas de los dos hornos, con una cinta independiente por horno</i>	83
<i>Tabla 3. Estadísticas de los dos hornos con una cinta por horno y 3 operarios trabajando. Y el horno de aire</i>	84
<i>Tabla 4. Estadísticas hornos repartiendo la carga de trabajo entre los dos hornos</i>	85
<i>Tabla 5. Estadísticas de los hornos, con dos cintas, tres operarios y sin el horno de aire</i>	86
<i>Tabla 6. Cálculo de las horas efectivas en un año natural</i>	97
<i>Tabla 7. Diagrama Gantt programación del proyecto de redistribución de planta</i>	98
<i>Tabla 8. Horas de trabajo totales</i>	99
<i>Tabla 9. Salario por hora de cada trabajador.</i>	99
<i>Tabla 10. Coste de MOD</i>	100
<i>Tabla 11. Coste Material</i>	101
<i>Tabla 12. Total, costes directos</i>	101
<i>Tabla 13. Coste de Mano de Obra Indirecta (MOI)</i>	101
<i>Tabla 14. Presupuesto total proyecto</i>	102

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

Hoy en día, gracias a las nuevas tecnologías, existen infinidad de herramientas que ayudan a una mejora continua de las empresas. Una de estas herramientas es la simulación. Es una potente herramienta que permite predecir acontecimientos futuros a partir de resultados pasados; de esta forma, las empresas pueden tomar decisiones de mejora con mayor seguridad.

La simulación se aplica a una gran variedad de sectores: en casos recientes como el control de pacientes infectados por COVID-19, en la organización de grandes eventos musicales, en la industria aeroespacial, la automovilística, las finanzas, la ingeniería, ..., y otros muchos más.

Dentro de la industria, el coste de una simulación es elevado, pero pensando en el largo plazo es una buena inversión. Esto se debe a que reporta grandes ventajas: la principal es que la empresa se ahorra un gran coste operativo, ya que puede probar nuevas propuestas sin el coste que

conlleva realizarlas físicamente; además, gracias a la velocidad de proceso de los ordenadores, permite simular largos periodos de tiempo en cortos periodos de tiempo; otro punto a favor es la gran variedad de escenarios alternativos que se pueden probar a un coste reducido.

La simulación se ha convertido en una de las mejores soluciones para la toma de decisiones complejas en ámbitos empresariales. Son muchas las empresas que emplean software especializado en simulación que permite a los ingenieros y programadores, crear un modelo de una forma sencilla e intuitiva.

Uno de los softwares más famoso dentro de este ámbito es Witness, de la empresa Lanner, que nos permite modelar cualquier sistema por muy complejo que este sea. Witness es un programa abalado por multitud de empresas, entre la cuales destacan Nissan, Michelin y Renault.

Si una empresa quiere ser competitiva debe contar con una serie de herramientas, entre la cuales se encuentra la simulación. El mundo de la industria avanza a pasos agigantados y cada vez aparecen más herramientas que facilitan el trabajo y toma de decisiones.

Motivación

Desde hace tiempo ya que la panificadora de la Panadería Bahón cuenta con la misma distribución en planta. Esta distribución ha sido válida durante varios años, pero se ha llegado a un punto donde la planta se está quedando pequeña y requiere de una nueva distribución con vistas al futuro.

En los últimos años la demanda de productos ha crecido, lo que se ha traducido en un incremento de trabajo dentro de la panificadora. La panificadora suele tener dos periodos de demanda diferentes: los meses de otoño, invierno y primavera son meses más tranquilos, pero los meses de verano la demanda se dispara por el turismo rural.

Esto hace que en verano se comience a hornear a las tres o tres y media dependiendo de la producción, mientras que en los otros meses con empezar a las cuatro es suficiente. Es también en estos meses de verano cuando al producir tanto pan, la panificadora se quede pequeña, y con los carros de pan ocupando casi todo el espacio apenas hay espacio libre para que circulen los trabajadores.

A partir de este problema, se llega a la conclusión de que la simulación de los diferentes procesos productivos podría ayudar a solventar los problemas de espacio, mejorar los horarios de trabajo e identificar otras posibles mejoras que puedan surgir durante la simulación.

Objetivo y alcance

El presente trabajo surge con tres objetivos. En primer lugar, estudiar la instalación de un nuevo horno para aumentar la capacidad de la panadería y conseguir que la jornada laboral pueda empezar más tarde. De esta manera, los trabajadores estarán más contentos y la panadería estará preparada para un aumento de demanda.

En segundo lugar, estudiar la instalación de una nueva máquina fermentadora, con la intención de que los empleados tengan más días libres. Posibilitando que estos trabajadores dediquen tiempo a otras tareas o se les de algún días libre más.

El tercer objetivo es el de identificar una nueva distribución de los procesos y recursos de la panadería de modo que logremos una planta más amplia y mejor organizada. Se busca que los carros de la panadería se puedan mover libremente, agilizar tiempos de preparación de las máquinas, evitar transportes innecesarios, acortar distancias y dejar espacio para futuras ampliaciones de maquinaria.

Para cumplir con estos objetivos la mejor opción, como se ha mencionado ya, es la simulación. Esta simulación se realizará con Witness; gracias a este programa se pueden modificar los

procesos de la panificadora, creando escenarios alternativos. Una vez se hayan creado los diferentes escenarios se analizarán y compararán los datos extraídos de la simulación.

A partir de estos datos se escogerá cual es el mejor escenario para la panificadora. Este escenario se tomará como referencia cuando se proponga la nueva distribución de la panificadora.

La simulación únicamente será de los procesos más relevantes de la panificadora, que son la producción de barras y chapatas. Estos procesos, en comparación con otros trabajos como la repostería o productos por encargo, requieren una carga de trabajo insignificante.

Estructura de la memoria

En el primer capítulo se contará toda la historia de la Panadería Bahón, como comenzó siendo un molino de agua para terminar siendo lo que es hoy. También se explicarán los diferentes productos de elaboración propia que ofrece la Panadería como: barras, chapatas, tortas de aceite, panetes, magdalenas, tortas mantecadas, bizcochos y pastas. Se explicará el tipo de clientes que tiene y, por último, se hablará de su plantilla.

En el siguiente capítulo se explica todo lo relacionado con la simulación: qué es una simulación, por qué es una herramienta tan potente, cuáles son los sectores en los que se emplea, ... Además, se explicarán las fases de creación del modelo, empezando por el estudio del sistema a modelar, para continuar con la formalización y formulación del modelo, validación y experimentación. También se mostrarán las diferentes razones por las que se eligió Witness como el software para realizar el estudio y se explicarán brevemente los elementos con los que trabaja.

La memoria continúa con un estudio exhaustivo de todos los procesos objeto de estudio de la panificadora, explicando los procesos de amasado, manufactura, fermentación y horneado. El tercer capítulo incluye, además, diagramas analíticos e imágenes que ayudan a entender mejor los procesos.

Con el estudio del sistema a simular se procede a reportar el proceso de programación de modelo. En el cuarto capítulo se explica el modelo que se ha realizado en Witness, sus características más relevantes y se muestran los resultados obtenidos, con la intención de compararlos con los nuevos escenarios.

Es en el quinto capítulo donde se explican de nuevo los objetivos del estudio para poder entender cuáles han sido los diferentes escenarios que se han definido. Con la prueba de varios escenarios alternativos se comparan los resultados y se propone una nueva distribución en planta de la panificadora. Siempre argumentado los cambios.

El capítulo sexto presenta un estudio económico del trabajo realizado. Primero se realiza un diagrama de Gantt con las diferentes tareas para posteriormente estimar las horas de trabajo que conlleva cada una, se multiplican estas horas por el coste por hora del trabajador y se tiene la mano de obra directa (MOD). A continuación, se estima un coste de mano de obra indirecta (MOI) y unos costes indirectos, para finalmente sumar todo y tener una estimación del coste del trabajo.

Para concluir, se presentan las conclusiones a las que se ha llegado tras realizar el trabajo, además de unas líneas futuras donde se explica hacia donde debería seguir el proyecto. Y, por último, una bibliografía con todas las referencias de los diferentes documentos consultados.

1. LA PANADERÍA BAHÓN

1. 1. Introducción

En este apartado se hablará de la Panadería Bahón. Se describirá cómo empezó Jesús Bahón a partir de un molino donde hacía y vendía el pan, para terminar siendo lo que es hoy la Panadería Bahón. También se explicarán los diferentes productos y servicios que ofrece la empresa, tanto al por mayor como al por menor. Se hablará de los tipos de clientes que tiene la panadería. Por último, se hablará de quiénes forman la empresa y los diferentes papeles que desempeñan.

1. 2. Historia

La Panadería Bahón nace en el año 1957, cuando un joven Emilio Bahón, de 17 años, junto con su padre, Jesús Bahón, se mudan del pueblo de Ligos (Soria) a Isar (Burgos). Es en Isar donde,

para ganarse la vida, compran un molino de agua (Ilustración 1), momento en el que nace la panadería Bahón. Entonces, únicamente se vendía pan al propio pueblo de Isar y a los pueblos cercanos a este. Además de vender el pan, para poder sacar mayor provecho al molino, también se molía grano. El grano que se molía solía ser de ganaderos de las merindades que querían moler el grano para dárselo de comer a sus animales, que solían ser vacas y cerdos.



Ilustración 1. Molino de agua donde se inició la Panadería Bahón

En los comienzos no se tenían ni los medios ni los recursos de los que se pueden disponer hoy en día en una panadería. Las tareas se realizaban de forma más rústica y artesanal. La amasadora ni siquiera funcionaba con electricidad, y era una turbina la que se encargaba de hacerla girar (Ilustración 2).



Ilustración 2. Bocas por donde pasa el agua a las diferentes turbinas del molino

Se pesaban las barras una a una manualmente con una báscula y se les estiraba manualmente también, para después meterlas de forma individual al horno de leña. Poco a poco se fue mejorando la maquinaria, se pasó de trabajar con un horno de leña de ladrillo en el que cabían veinte barras a uno de cien barras giratorio. Era un horno circular que se giraba mientras se introducían manualmente las barras de forma radial.

Pasados unos años, en la década de los 80 ya se dejó de moler en el molino, pues los pocos ganaderos que iban quedando preferían comprar pienso a hacerlo ellos mismos. Con este nuevo panorama se tomó la decisión de trasladar la panadería a una nave a escasos metros (Ilustración 3) y dejar de moler; fue aquí cuando ya hubo un cambio radical.



Ilustración 3. Actual centro de fabricación de Panadería Bahón

Se instaló maquinaria nueva como el actual horno de aire, una fermentadora y una máquina de pesar. A partir de este momento la producción aumentó de unas pocas barras (en torno a trescientas) a mil unidades diarias. Se pasó poco a poco de vender exclusivamente para los pueblos a buscar nuevos clientes en negocios de Burgos.

Una de las mayores mejoras que se obtuvieron fue la adquisición en 1996 de un horno con capacidad de 300 unidades, el cual se sigue utilizando hoy en día y tiene unos resultados

excelentes. Además del horno, se adquirió la cinta que le acompaña, que es capaz de introducir veinticinco unidades en menos de un minuto. Este cambio facilitó enormemente la labor de la panadería.

Fue en el año 2004 cuando se empezaron a fabricar chapatas; hasta entonces únicamente se hacían barras, tortas y panetes. Se comenzó manufacturándolas manualmente sobre un tablero con unos rodillos y cortándolas a mano. Los primeros meses se vendían unas cien o doscientas chapatas, pero poco a poco los clientes fueron demandándolas más y se optó por darles lo que pedían y comprar una máquina que facilitase el proceso. En la actualidad se manufactura en torno a tres o cuatro veces más chapatas que barras, siendo la chapata uno de los productos más deseados.

La producción de repostería también ha ido cambiando con el tiempo. Al principio se fabricaba exclusivamente pan, aunque con el paso del tiempo se comenzó a hacer repostería; primero vinieron las rosquillas y las tortas mantecadas, luego las pastas y, por último, los bizcochos y las magdalenas. Los procesos de manufactura están en continua mejora.

Actualmente la panadería está en un buen momento, siendo regentada por el hijo de Emilio Bahón y Purificación Puente. Sigue satisfaciendo la necesidad de pan a los pueblos que siempre ha suministrado y sumando, en la medida de lo posible, negocios a su cartera de clientes.

1. 3. Productos

Dentro de este apartado presentaremos los diferentes productos que tiene la panadería. En la panificadora se llevan a cabo cinco tipos de productos de pan, entre los que destacan las *barras* y las *chapatas* (Ilustración 4), ya que son los que más ventas tienen y, en consecuencia, mayor carga de trabajo precisan. Son, con diferencia, los productos más demandados por los clientes.



Ilustración 4. Barra, torta de aceite y chapata

Ambos productos se producen en dos tamaños: un tamaño estándar, de unos cuarenta centímetros, y otro denominado comúnmente como media chapata o media barra, que mide de en torno a veinte centímetros. Los tamaños mencionados son aproximados, ya que los productos se manufacturan por peso y no por tamaño; además, dependiendo de la fermentación que se les dé puede variar el tamaño, por lo que nunca hay dos productos iguales.

De estos dos productos se producen una media de 450 barras y 650 chapatas diarias. El volumen de producción se puede ver modificado por el día de la semana, como consecuencia, normalmente, del cierre por descanso semanal de algunos clientes. Además, se ofrece una barra hecha con harina integral; de esta no se producen grandes cantidades, ya que normalmente se manufacturan por encargo y no son muy demandadas.

También se dispone de otros tipos de productos más exclusivos. Estos no se producen en masa como se hace con las barras y chapatas, sino que se realizan manualmente. Los productos de los que estamos hablando son la torta de aceite, el panete y el bobo (Ilustración 5).



Ilustración 5. Banasta con Bobos, Panetes y torta

Dichos productos se entregan por encargo y no se realizan nunca más de los que se vayan a vender; son como la joya de la corona. Evidentemente, tienen un precio superior al de la barra y la chapata. Normalmente, se realizarán unos diez o quince panetes, cinco bobos y unas cuarenta tortas al día. No puede faltar en una panadería un pan de boda (Ilustración 6), que se realiza por encargo a toda pareja que desee tener un pan especial el día de su enlace.



Ilustración 6. Pan de bodas

Quiero destacar que los números mencionados anteriormente son únicamente estimaciones diarias ya que, en los meses de verano, puentes, festivos o las navidades, las ventas se ven incrementadas notablemente. El turismo rural de verano, las reuniones navideñas en el pueblo o la desconexión de un fin de semana hace que aumente la población y, en consecuencia, la demanda. En algunos días de verano puede que la producción de chapatas supere las mil unidades.

El producto que ofrece la panadería es un producto con una calidad superior; de hecho, muchos clientes se sorprenden al ver que no se realiza todo por medios manuales, lo que no tiene por qué reducir la calidad. En especial la chapata y la torta de aceite son los productos estrella. La diferencia más notable entre el producto que ofrece Panadería Bahón y el que ofrecen otras panificadoras de gran producción es la fermentación de la masa.

Son muchos los locales, tiendas y supermercados que venden panes congelados. Se denomina pan congelado a aquel pan que su masa ha sido congelada para posteriormente hornearla. Estos panes son de una calidad inferior, no tiene tanta miga, pierden la calidad muy rápidamente y se vuelven, como comúnmente se dice, “en un chicle”. El único motivo por el que las tiendas venden este tipo de pan es porque deja mayor beneficio o un precio más ajustado que el pan de masa fresca.

Además del pan, la panadería también ofrece productos de repostería. Se manufacturan magdalenas, bizcochos, pastas y tortas mantecadas (Ilustración 7). Son productos sin aditivos ni ningún tipo de conservante más que ingredientes naturales, por lo que tienen una buena calidad.

Al igual que el pan, estos productos también se venden entre los clientes al por mayor. De momento, no suponen una gran carga de trabajo a la panadería; son un producto adicional al que se ofrece.



Ilustración 7. Magdalenas, tortas mantecadas, bizcocho y pastas de Panadería Bahón

1. 4. Clientes

La panadería ofrece productos de dos formas diferentes: *venta al por mayor* a tiendas de venta de pan, bares, restaurantes, residencias y todo tipo de negocios; y *venta ambulante* por los pueblos cercanos a la panificadora.

La venta ambulante por los pueblos de la merindad es algo que se lleva haciendo desde que se abrió el negocio y que es muy común en los pequeños pueblos de castilla. Son muchas las personas mayores que viven en pueblos y no pueden desplazarse hasta Isar a comprar el pan, es por ello por lo que la Panadería Bahón ofrece este servicio. Los pueblos a los que se va a realizar dicha venta ambulante son Hornillos del Camino, Hormaza, Isar, Villanueva de Argaño, Cañizar de Argaño, Citores, Yudego, Olmillos de Sasamón, Villandiego, Pedrosa del Páramo, Manciles y Villorejo.

No se va todos los días a todos estos pueblos, ya que no hay suficiente tiempo como para que el repartidor reparta el pan antes de la hora de comer a todos ellos. Solo Isar y Villanueva son

los pueblos donde se reparte diariamente. Al resto se les alterna unos días sí y otros no. Se dividen por proximidad entre ellos, para abaratar costes de transporte: unos días se reparte a Cañizar de Argaña, Pedrosa del Páramo, Manciles y Villorejo, mientras que otros días se distribuye por Citores, Yudego, Villandiego y Olmillos de Sasamón.

Antaño vivía mucha gente en los pueblos y básicamente la panadería se sostenía con eso. Con el paso del tiempo ha ido aumentando el éxodo rural y, con ello, la panadería ha ido perdiendo clientes por lo que ha tenido que buscarlos en la ciudad más cercana que es Burgos.

Hoy en día, la venta ambulante es más bien una obra social que un negocio como tal; en los meses de invierno donde únicamente quedan personas mayores en los pueblos y algún joven que tenga su fuente de ingreso en él, apenas se vende pan. Si a esta venta de pan le restamos el salario del obrero y los gastos del vehículo, apenas nos queda beneficio. Es en las fechas de verano cuando sí se vende más pan y se consigue mayor beneficio. Si no fuese por esos días no saldría rentable realizar dicha venta ambulante.

Por otro lado, tenemos la venta al por mayor, que es la que más volumen de pan mueve dentro del negocio; puede estimarse que supone entorno al 70% de la producción diaria. Esta cartera de clientes va desde puestos de venta de pan como la tienda el Surko, restaurantes como Restaurante la Caja (Ilustración 8) o Endrágora, a hostales como Hostal Linares. La cartera de clientes es muy variada; no todos se ubican en Burgos, sino que también se abastece a negocios próximos a la panificadora, como el Hotel Rio Cavia y Bar Pepe, además de tiendas en varios pueblos.



Ilustración 8. Restaurante La Caja

La venta al por mayor funciona de forma diferente. El precio por unidad se ve reducido, ya que se compra en grandes lotes. Se diferencia entre los clientes tipo restaurante, bar y residencias de los locales de venta de pan. En los locales tipo restaurante se les vende simplemente el producto.

En cambio, en los locales de venta, se estima de forma conjunta el pan que se va a vender y se le provee dicha cantidad. El pan que el local no pueda vender no se le cobra al cliente, lo que aporta confianza al cliente a coger el pan que necesita sin tener que llegar a coger menos por si se le sobrase pan y perdiese dinero, por tener que pagar lo que no ha vendido. Aunque dicha metodología parezca que hace perder a la Panadería Bahón, el tiempo ha demostrado que es una buena estrategia, ya que normalmente a los clientes no les suele sobrar pan.

1. 5. Plantilla

Como ya se ha mencionado antes, la producción diaria alcanza picos de 1600 unidades diarias, lo que no supone una carga de trabajo excesiva. Por este motivo, la Panadería Bahón cuenta con una pequeña plantilla formada por cinco empleados durante todo el año (Ilustración 9).



Ilustración 9. A la izquierda María Isabel Bahón y a la derecha Emilio Bahón

Los trabajadores son: María Isabel, Emilio, Ana, Emiliano y Ramón. Emilio se encarga de hornear y de la venta ambulante, María Isabel y Ana se encargan de producir el pan, Emiliano hornea junto con Emilio y produce pan con María Isabel y Ana, por último, Ramón reparte pan entre los diferentes bares, restaurantes y locales. A estos se les suma otros dos obreros en los meses de verano, uno más para la panificadora y otro para la venta ambulante.

En cuanto a los diferentes cargos dentro de la empresa, Emilio es el responsable de la contabilidad, relación con los nuevos clientes y también se encarga de los pedidos. Maribel es la encargada de producción y Ramón es quien, además de repartir, busca la ruta más eficiente para dicho reparto.

2 Simulación

2.1. Introducción

En este apartado se explicará qué es una simulación, qué utilidad tiene, para qué se usa y cuáles son sus limitaciones.

La simulación es la imitación de cualquier tipo de proceso sin llegar a realizar dicho proceso. Un ejemplo sencillo, serían los sistemas visuales y sonoros que se emplean en las escuelas de vuelo para imitar las condiciones de vuelo durante el aprendizaje del alumno (Ilustración 10).

La simulación es la representación de un proceso real de forma virtual o gráfica que nos permite prever qué es lo que sucederá en el futuro. Se puede recibir mucha información de la simulación. En definitiva, es como experimentar una acción o conjunto de acciones sin tener que llevarlas a cabo físicamente, lo que afianza decisiones sobre inversiones o cambios.



Ilustración 10. Simulador de vuelo

La simulación se emplea en multitud de campos, ya sea en la educación, como el ejemplo anterior, en la industria, como sería el caso que nos interesa, o la investigación. Nos permite, de una forma sencilla verificar hipótesis, sobre cualquier tema, ahorra grandes costes de experimentación y aprendizaje.

Antes de comenzar una simulación se deben plantear los objetivos de dicha simulación, cuáles son los datos que queremos conocer de la simulación y qué variables les influyen. Estudiado el proceso que vamos a simular se procede a la toma de datos. No todos los datos son importantes; únicamente se debe recolectar aquellos que sean relevantes dentro del proceso a simular. Una vez hemos montado el modelo e introducido los datos se procede a simular. Para comprobar que tenemos un modelo válido se realiza una simulación y se compara con datos reales, de esta forma verificamos que el modelo representa correctamente la realidad.

2. 2. Ventajas y desventajas de la simulación

La simulación tiene una infinidad de **ventajas** a la hora de tomar decisiones. Como ya he comentado, la principal ventaja es la de poder saber qué va a suceder en un proceso sin tener que procesarlo físicamente, ahorrándose los gastos que esto acarrea. Pero tiene muchas otras más.

Tiene la capacidad de reproducir largos tiempos de proceso en cortos periodos de tiempo. Es decir, en unos pocos minutos el ordenador puede procesar una infinidad de procesos. Especialmente en el campo de las matemáticas y la física donde la simulación aporta gran ayuda a la hora de procesar complejos sistemas que de otra forma sería imposible.

Puede poner al límite un proceso sin lo que esto conllevaría en la realidad. Un caso extremo sería el de un accidente dentro de un festival musical de 200 000 personas, donde los equipos de seguridad deben de estar preparados para cualquier situación. Con la ayuda de la simulación los equipos de seguridad son capaces de simular la evacuación de la gente del recinto sin montar grandes aglomeraciones ni causar más daños. Se podría decir que incluso salva vidas.

Otra ventaja es que no tiene por qué simularse siempre un proceso antes de ser creado, se puede sacar provecho a la simulación en todas partes de la vida útil de un producto o un proceso. Siempre es buen momento para plantear mejoras. Ya sea a partir de grandes cambios en el sistema o por la suma de pequeñas variaciones, toda mejora es buena. Siempre que se lleva a cabo una simulación, se adquiere un conocimiento superior sobre el proceso o producto.

La herramienta más potente de una simulación es el poder verificar con una elevada precisión, cómo va a funcionar un proceso del que aún no se ha construido nada físico. Esto puede ahorrar muchos costes. Pongamos un ejemplo con número redondos. Una empresa tiene prevista la compra de una nueva máquina para incorporarla a un nuevo proceso productivo, dicha máquina tiene un valor de 300 000€ y el coste de simular el impacto de dicha máquina en el proceso es de 20 000€.

Aunque se vea como un coste añadido, si tras la simulación se comprueba que comprar la nueva máquina no va a acarrear beneficios en vez de perder 300 000€ únicamente costaría 20 000€, quedándole a la empresa 280 000€ para mejorar otro aspecto de la empresa. Además, por el mero hecho de simular un proceso siempre se consigue alguna mejora. Desde el punto de vista económico simular una decisión de gran envergadura dentro de una empresa es como un seguro de inversión.

A continuación, en la Ilustración 11 se muestra una gráfica donde, en azul, se muestra el capital invertido para el ejemplo anterior y, en naranja, el capital en riesgo a la hora de realizar la simulación.

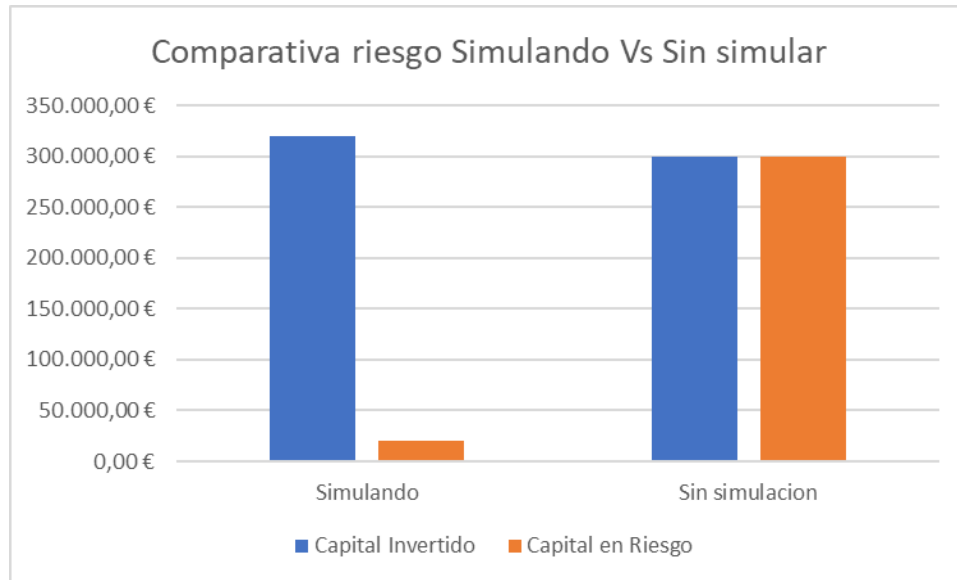


Ilustración 11. Comparativa del riesgo de inversión: Simulando Vs Sin Simular

En el caso simulado se ha tenido en cuenta como capital en riesgo únicamente el coste de la simulación porque se supone que si la simulación no nos reporta los resultados necesarios para implementar la máquina esto sería dinero perdido (que en verdad no lo sería porque ayuda a comprender mejor la empresa).

En el otro caso se pone como capital en riesgo a toda la inversión de la maquinaria pues no se sabe a ciencia cierta si la implantación de la máquina va a ser efectiva o que otros posibles gastos acarree. La diferencia es notable, dejando claro que la simulación es la mejor solución a la hora de tomar decisiones (siempre y cuando se pueda crear un modelo válido).

Entre las **desventajas** se encuentra los modelos no son exactos al cien por cien, lo que puede acarrear pequeños errores, que si se extrapolan en el largo plazo dejan de ser pequeños para convertirse en grandes problemas. Los resultados que reportan las simulaciones son datos

numéricos procedentes de un programa que nosotros mismos hemos creado; se dan casos donde se le da una mayor importancia a los datos de la que tienen.

No existe nunca una simulación perfecta si no que un mismo proceso se puede simular de varias formas, por lo que no es fácil programar una simulación. Además, es un proceso costoso que no tiene por qué darnos un resultado claro.

2. 3. Aplicaciones

La aplicación de las simulaciones se puede aplicar a infinitud de procesos. Desde en el campo de la educación, la hostelería, la industria, ingeniería, medicina, matemáticas, decisiones militares, ... Básicamente, todo proceso que se pueda realizar se puede simular. Incluso dentro de las matemáticas hay procesos que se simulan que ni siquiera son reales.

Un ejemplo sería en la investigación del proyecto ITER (*International Thermonuclear Experimental Reactor*, El Internacional Reactor Termonuclear Experimental), donde treinta y cinco países han puesto la esperanza de realizar el mayor reactor de fusión nuclear del mundo. Este ambicioso proyecto que se está construyendo en Cadarache (Francia, Ilustración 12), tiene como objetivo crear de una forma innovadora energía limpia en grandes cantidades.

Proyectos de esta envergadura únicamente pueden hacerse realidad gracias a la simulación, ya que les permite prever de antemano como trabajará el reactor para así implementar las medidas de seguridad necesarias para su correcto funcionamiento. Sin la ayuda de estas herramientas el coste humanitario, material y económico de las experimentaciones sería estratosférico. Además, por seguridad de la humanidad, es conveniente verificar que funciona sin fallos antes de ponerle en marcha, y la única manera posible es simulándolo.



Ilustración 12. Proyecto ITER en construcción. Imagen tomada de: xataka.com

Además de este caso extremo, son muchas las empresas que cuentan con software que simule y prevea futuras modificaciones para la mejora continua de la empresa. Algunos ejemplos serían Michelin y Renault. Más adelante, en el apartado de Software, se hablará de los diferentes softwares disponibles para la programación y cuáles se adaptan al objeto de estudio del trabajo.

2. 4. El modelo

Antes de continuar con la explicación de la simulación, conviene dejar clara la definición de modelo. Un modelo es una representación de un sistema. En el caso que se va a trabajar, el modelo que se plantea elaborar será una abstracción de los diferentes procesos de la panificadora. A este modelo se le introducen unos parámetros o mediciones para, posteriormente, trabajar con él y recibir un comportamiento, sobre el que se realiza un análisis y se estudia su aceptabilidad.

Los modelos se pueden clasificar en función de varios parámetros: en función del tiempo, si el tiempo es una variable más dentro del modelo son dinámicos y si es en un instante de tiempo

son estáticos; en función de la aleatoriedad de las variables, si interviene alguna variable aleatoria se denomina determinístico y si no interviene se denomina estocástico; en función de su finalidad, si buscan la optimización se clasificarán como prescriptivos y si únicamente son para describir un sistema son descriptivos; en función de del tipo de cambio de las variables, si los parámetro o variables cambian de forma continua tenemos un modelo de tiempo continuo si nuestro modelo únicamente sufre cambios en intervalos de tiempo discretos se determina como tiempo discreto.

Para el modelo de la panificadora se realizará un modelo computarizado de tipo dinámico, descriptivo, estocástico y de tiempo discreto. En el siguiente apartado se explicarán los pasos necesarios para la realización de una simulación entre las cuales se encuentra la programación del modelo.

2. 5. El proceso de simulación

La elaboración de una simulación es un largo proceso, del que no se puede pasar al siguiente paso sin antes haber realizado correctamente el anterior, pues arrastraríamos los errores durante todo el proceso.

Se comienza estableciendo una serie de objetivos a cumplir, saber para qué vamos a realizar una simulación y con qué fin. A continuación, se determina el alcance de la simulación, sabiendo los objetivos se determina el nivel de detalle óptimo para la simulación. Después se pasa a la recogida de datos, los cuales deben tomarse de forma rigurosa para tener un modelo válido. Junto con la toma de datos se va construyendo la estructura del modelo; es recomendable que antes de realizar estos dos pasos se haya hecho un estudio previo del sistema a simular.

Con todo listo se comienza a construir el modelo, una vez construido se ejecuta y toman resultados. Para verificar la validez de la simulación se comparan los resultados obtenidos en la simulación con datos reales; sí coinciden el modelo se dará por valido. Hay que recordar que no

existe ningún modelo que pueda representar la realidad con un ciento por ciento de exactitud, por lo que se deja un pequeño margen de error a la hora de validar.

Ahora ya solo queda experimentar con el modelo, ya sea probando nuevos escenarios, modificando variables de entrada o cualquier tipo de cambio en el modelo. Por último, se archivan todos los datos, tanto del modelo como de la experimentación para posteriormente hacer una presentación de los resultados. Estos resultados serán de gran utilidad a la hora de tomar la decisión por la que se planteó el estudio.

2. 6. Software

Los modelos se pueden realizar de diversas formas, ya sea mentalmente, manualmente o de forma computarizada. El sistema que se plantea modelar es demasiado complejo como para modelarlo manualmente, por lo que se opta por modelar con la ayuda de un software que trabaje con el modelo.

Existe una gran variedad de software informático de simulación, desde los entornos de simulación a las hojas de cálculo. Cada cual tiene un campo distinto: las hojas de cálculo se emplean para cálculos sencillos ya que para sistemas complejos requieren mucho trabajo de programación. También, se dispone de software general como sería el lenguaje de programación C++, el cual permite construir cualquier modelo, pero con una carga trabajo superior a la de softwares específicos, como Arena, ExtendSim, FlexSim o Witness. Estos softwares específicos tienen un coste superior al resto de sistemas. En la Ilustración 13 se muestra una imagen comparando los diferentes softwares de simulación.

Vistos los diferentes tipos de software disponibles, se concluye que para el modelo que se piensa realizar la mejor opción es el software de entornos de simulación. Ya que requiere menos tiempo de estudio y programación, lo que nos permitirá alcanzar más rápido los objetivos.

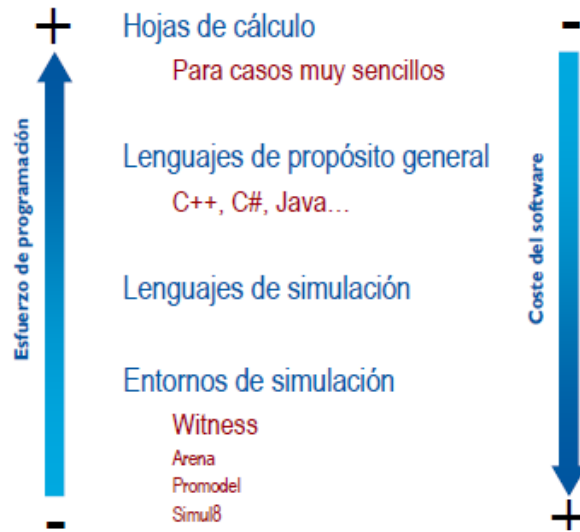


Ilustración 13. Comparativa entre softwares de simulación. Imagen tomada en: <http://softwaresdesimulacion.blogspot.com/>

Dentro de este software, el mercado nos brinda una gran variedad de programas. De todos los programas que hay se han analizado los siguientes: Arena, ExtendSim, FlexSim y Witness.

- Arena (Ilustración 14). Es un software muy potente con una interfaz muy sencilla e intuitiva, destaca por representar el modelo en forma de diagrama analítico. Es válido para la industria y es utilizado por diversas empresas, como la asesoría Clarcat.

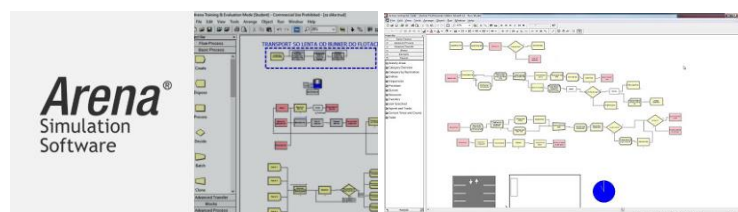


Ilustración 14. Arena Simulation. Imagen tomada en: <https://www.arenasimulation.com/>

- ExtendSim (Ilustración 15). Es sin duda el software más potente de todos, la distribución de los elementos es similar al software de Arena, pero con la diferencia de que este software simula visualmente el proceso, es decir, que las diferentes entidades viajan por el modelo y pueden ser percibidas por el usuario.



Ilustración 15. Extendsim. Imagen tomada de: <https://extendsim.com/>

- FlexSim (Ilustración 16). Es el software con mejor representación gráfica de todos; de los cuatro softwares que se han analizado, este es el mejor en cuanto a representación 3D del modelo. Cuenta con una interfaz muy dinámica y con modelos predeterminados que ayudan al usuario a programar más rápidamente. Dispone de un análisis de datos muy visual.



Ilustración 16. FlexSim. Imagen tomada de: <https://www.flexsim.com/>

- Witness (Ilustración 17). Este software es el punto medio entre los otros tres. Dispone de una interfaz muy intuitiva, además de simular gráficamente el proceso y un tratamiento de datos visual y efectivo.



Ilustración 17. Witness. Imagen tomada de: <https://www.lanner.com/>

De entre los cuatro softwares que se barajan, por diversas razones el elegido ha sido Witness. El software de Arena no solventaba los problemas que se plantean, pues se busca un software

que represente visualmente los procesos. El software de ExtendSim es apto para el objetivo del trabajo, pero no es la óptima pues es más potente de lo necesario.

Por último, la decisión estaba entre FlexSim y Witness, los cuales son muy parecidos, pero se optó por coger Witness, ya que es el software con el que cuenta el Departamento de Organización de Empresas y Comercialización e Investigación de Mercados de la Universidad de Valladolid. Además, la versión de estudiante de FlexSim no permite modelar todo el sistema de la panificadora, ya que no permite introducir todos los elementos que se desean.

2. 6. 1. Witness

Witness es la marca registrada que la empresa Lanner ha dado a su programa de simulación. Lanner comenzó a trabajar con simulaciones en el año 1996; estas se empleaban para respaldar la toma de decisiones y crear entornos de trabajo más eficientes. Desde entonces llevan conectando a las personas con sus negocios, sus datos y sus procesos; capacitándoles para que tomen decisiones más inteligentes en su empresa. Con sus modelos y tecnología de simulación predictiva inspiran confianza a la hora de decidir un cambio.

Witness es una herramienta muy potente que permite modelar cualquier tipo de sistema. Además, el modelo puede ser modificado antes y durante la simulación. La programación de un modelo se hace sencilla, gracias a su intuitiva interfaz, donde el programador va colocando los diferentes elementos sobre el escenario y únicamente debe introducir una serie de parámetros (estructura jerárquica y modular).

Witness cuenta con una serie de herramientas para el procesado de datos, realiza automáticamente tablas con los datos más relevantes de la simulación y si se desea también hace diagramas con estos datos. Además, se pueden exportar dichos datos a hojas de cálculo, informes HTML, enlaces a BPM, enlaces XML, ...

Una de las razones por las que se ha elegido emplear Witness es porque es un programa abalado por multitud de empresas multinacionales, entre las cuales destacan: Michelin, Renault y Nissan. Además, se emplea en multitud de sectores y entornos como: la industria del automóvil, industria farmacéutica, medicina, logística, alimentación, industria energética, finanzas, industria aeroespacial incluso en el gobierno.

2. 6. 2. Elementos de Witness

Para poder entender el modelo creado, primero se explicarán los diferentes elementos que aporta Witness para crear modelos. Se comenzará presentando la interfaz de Witness. Como se observa en la Ilustración 18 en la parte izquierda está el árbol de elementos o selección de elementos; aquí se encuentran todos los elementos del modelo, que se pueden agrupar por módulos para lograr un trabajo más cómodo.

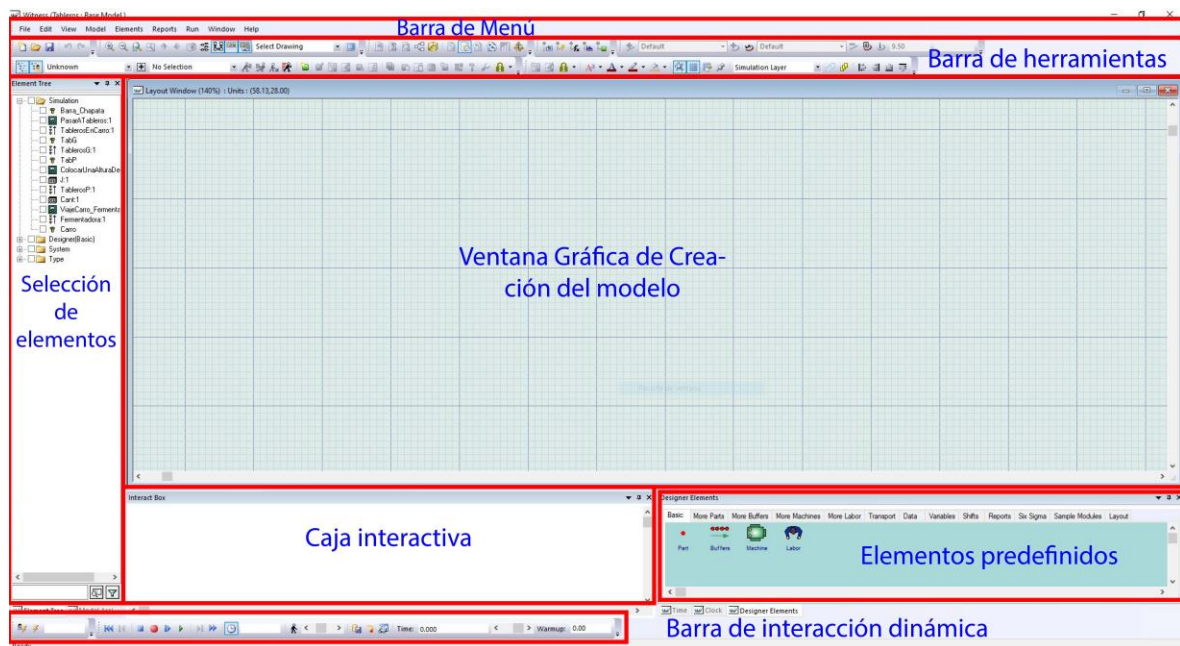


Ilustración 18. Pantalla inicio de Witness

En la esquina inferior derecha se encuentran los elementos predefinidos; estos sirven para introducir elementos de forma rápida, se arrastran a la ventana gráfica y automáticamente se incorporan al modelo. En la ventana gráfica se representan gráficamente los elementos del modelo con el fin de proporcionar una visión más intuitiva de este.

En la parte inferior está la barra de interacción dinámica que es la que se encarga de controlar el tiempo dentro de la simulación. Por último, en la parte superior se encuentra una barra de herramientas que ayudará a programar más rápidamente el modelo.

En resumen, se van incorporando los diferentes elementos al modelo para, a continuación, enlazarles entre sí con una serie de parámetros y normas. Seguidamente, se mostrarán los diferentes elementos de los que dispone Witness.

Los elementos de Witness se clasifican en: elementos físicos, elementos lógicos y elementos gráficos. Los **elementos físicos** representan los diferentes componentes reales del sistema a simular. Estos se pueden dividir entre elementos discretos y elementos de proceso continuo.

Los *elementos discretos* representan a todos los componentes discretos del sistema. Se cuenta con los siguientes elementos:

- **Parts (Entidades):** son elementos que circulan por todo el modelo. Representan los diferentes productos, materias primas, piezas, ..., en definitiva, todo elemento que circule por el sistema. En el caso a simular, un ejemplo de Part es la chapata. A estas entidades se les puede incluir fluidos.
- **Buffer (Almacenes/Colas):** son los lugares donde se almacenan las diferentes entidades, ya sea para esperar un tiempo determinado o para esperar a ensamblarse con otros elementos. Un ejemplo serían las personas haciendo cola o un lote de piezas esperando a ser procesado.
- **Machine (Máquinas):** uno de los pilares fundamentales de la simulación. Procesan las entidades durante un tiempo determinado para posteriormente enviarlas igual o con alguna modificación al siguiente destino. Se les puede incluir acciones al principio y al

final del proceso. Un torno CNC sería un ejemplo de machine. Dentro de las machines existen varios tipos:

- Single Machine: esta máquina es la más simple de todas. Recibe o coge una entidad y la procesa durante un tiempo determinado para posteriormente expulsarla de la misma forma que entró.
 - Batch Machine: este tipo de máquina procesa varias piezas a la vez. Recoge un conjunto de entidades y las procesa, para expulsarlas todas a la vez.
 - Assembly Machine: estas máquinas reciben o cogen varias entidades y, tras procesarlas, expulsan una única entidad.
 - Production Machine: esta máquina recibe una única pieza, que procesa durante un tiempo determinado, para posteriormente expulsar la pieza junto con más piezas. El número y tipo de pieza se indica en las especificaciones de la máquina.
 - General Machine: se introducen varias entidades y expulsa otro número diferente de entidades. Ambas cantidades se deben de indicar en las especificaciones de la máquina.
 - Multi Machine: es la máquina más compleja. Procesa una o más entidades en una cantidad de estaciones determinadas. Se podría definir como un conjunto de machines.
- Labours (Recursos): son elementos que representan recursos necesarios a la hora de iniciar o procesar en una máquina, ya sea personal o materiales. Pueden verse implicados en varias máquinas a la vez, pero solo pueden atender una. También se les puede incorporar un orden de prioridad para cuando tienen llamadas simultáneas.
 - Conveyors (Cintas transportadoras): son elementos que permiten la movilidad de las entidades por el modelo.
 - Path (Caminos): elemento de unión entre dos elementos para entidades.
 - Tracks (Vías): pista por la que circulan los vehículos.

- **Vehicles (Vehículos):** son elementos que simulan el comportamiento de vehículos de transporte, como serían carretillas elevadoras, vehículos de reparto o AGV (Vehículo guiado de forma automática).
- **Módulos:** son elementos de gran utilidad. Permite agrupar cualquier conjunto de elementos, lo que favorece el desarrollo del modelo y el modelaje de escenarios muy repetitivos. Pues una vez tenemos un módulo este se puede copiar cuantas veces se desee.

Los *elementos de proceso continuo* se emplean para simular procesos con un movimiento continuo como serían los fluidos. Entre estos elementos se encuentran:

- **Fluids (Fluidos):** son el símil de los parts pero en proceso continuo, ya que circulan por los diferentes elementos (de tipo continuo) del modelo. En este caso representan fluidos.
- **Tanks (Tanques):** son los elementos donde se conservan o esperan los fluidos. Se les puede aplicar un mantenimiento o limpieza. Cuentan con normas de entrada y de salida, y se puede modificar el fluido de salida.
- **Processors (Procesadores):** estos procesan los diferentes fluidos. Se le puede introducir varios fluidos para que el elemento les procese durante un tiempo determinado y expulse los fluidos unificados en un único fluido o por separado si se desea.
- **Pipes (Tuberías):** son los elementos de unión entre los tanks y processors. Al igual que los tanques, se les puede programar un mantenimiento o limpieza.

Por otro lado, están los **elementos lógicos** que ayudan a programar el modelo y permiten aplicar una lógica al modelo. También, permiten trabajar con la información relacionada con el modelo además de poder incorporar la lógica que el modelo requiera. En resumen, son los elementos encargados de organizar los elementos entre sí. Entre estos elementos están:

- **Atributos:** son elementos que se pueden asignar a una entidad, aportando información sobre esta, como podría ser su color o su estado de calidad.

- Variables: es uno de los elementos más simples pero el que más poder tiene dentro de la simulación junto con las acciones. Las variables pueden ser de tipo entero o decimal. Estas se pueden modificar en cualquier elemento del modelo. A diferencia de los atributos no van asociadas a ninguna entidad. Puede aportar infinitud de datos.
- Archivos: una vez se realiza una simulación el programa reporta datos sobre los diferentes elementos; estos se pueden mostrar directamente desde el programa o exportarlos para trabajar con ello en otro software.
- Distribuciones: para poder llevar a cabo simulaciones lo más reales posibles se dispone de una serie de distribuciones. Estas distribuciones permiten dar aleatoriedad a la simulación, como por ejemplo sería en el caso de piezas defectuosas. De esta forma acercaremos más la simulación a la realidad.
- Funciones: al igual que las distribuciones, el programa cuenta con una serie de funciones que ayudan a programar la lógica del modelo. Además, el programador puede crear funciones.
- Archivos de entidades: no es más que un conjunto de entidades, con un tamaño de lote, atributo y momento de llegada determinados.
- Shift (Turnos): este elemento se emplea para definir cuáles van a ser los intervalos temporales de trabajo y descanso de cualquiera de los elementos. Se emplea mayoritariamente para simular el horario de los empleados.

También contamos con los **elementos gráficos**, que sirven para poder comprobar los datos y la situación del modelo de una forma rápida e intuitiva. Los diferentes elementos gráficos son:

- Pie Charts (Diagramas de tarta): se emplean para mostrar de forma rápida los datos de la simulación, como por ejemplo sería los tiempos ociosos y de trabajo de una máquina o un recurso.
- Timeseries (Series temporales): muestran hasta siete resultados de forma gráfica en función del tiempo. Son muy útiles para observar el carácter cíclico de un modelo.

- Histograms (Histogramas): son gráficos de barras que representan los diferentes datos del modelo.
- Reports (Informes): estos reportan todos los datos que Witness recoge de la simulación; es de aquí de donde se toman los datos de los elementos anteriores.

Estos serían todos los elementos con los que cuenta Witness. Para la correcta realización del modelo se le debe aplicar una lógica, que se consigue mediante las **reglas** y las **acciones**. Las **reglas**, que pueden ser de entrada y de salida, se usan para indicar cómo se mueven las entidades por los elementos del modelo. Las reglas de entrada son para recoger una entidad de un elemento y las de salida son para enviar una entidad de un elemento a otro. Normalmente por defecto las reglas están en espera (WAIT), por lo que hay programarlas.

Las reglas de entrada más importantes son:

- PUSH: este empuja un elemento de un elemento a otro.
- PULL: esta recoge una entidad desde cualquier lugar a un elemento.
- WAIT: indica que el elemento está ocioso en espera de recibir un elemento.
- MOST: de un conjunto de elementos coge el elemento del elemento con más entidades.
- LEAST: de un conjunto de elementos coge el elemento del elemento con menos entidades.
- IF: es una acción que permite el acceso a más acciones siempre y cuando se cumplan unos requisitos lógicos.
- SELECT: escoge el elemento de donde recibir elementos en función de una expresión.
- BUFFER: crea un buffer de entrada dentro de una machine.
- MATCH: habilita que una machine coja elementos de varias entradas.

Mientras que las reglas de salida que se pueden emplear son:

- WAIT: el elemento no se mueve hasta que no sea llamado por otra acción.

- PUSH: empuja un elemento a otro elemento.
- MOST: de un conjunto de elementos envía la entidad al elemento con más entidades.
- LEAST: de un conjunto de elementos envía la entidad al elemento con menos entidades.
- IF: es una acción que permite el acceso a más acciones siempre y cuando se cumplan unos requisitos lógicos.
- SELECT: escoge el elemento hacia donde enviar elementos en función de una expresión.
- BUFFER: crea un buffer de salida dentro de una machine.

El lenguaje de programación de Witness está basado en **Acciones**. Un lenguaje muy sencillo que se parece al lenguaje de programación en C. Con las acciones se puede modificar variables y atributos, controlar entidades, ... Esto nos sirve para dotar una lógica específica al modelo.

Con todos estos elementos, se pueden realizar multitud de modelos. El abanico de oportunidades que nos aportan las acciones, sumado al resto de elementos, es infinito. Es muy importante que, para realizar correctamente el modelo, se dedique un tiempo de estudio previo a los elementos Witness.

3 LA PANIFICADORA: EL SISTEMA OBJETO DE ESTUDIO

3.1. Introducción

En este capítulo se explicarán todos y cada uno de los procesos objeto de estudio de la panificadora. Se hará de la forma más minuciosa posible, con la intención de que se comprendan perfectamente para, después, entender mejor la simulación de dichos procesos. Para ello, se han realizado varios diagramas analíticos que representan cada uno de los procesos. Además, de un diagrama general que se mostrará a continuación.

Antes de nada, explicar brevemente la distribución actual de la planta de la panificadora. En la Ilustración 19 se ha realizado un plano a escala de la panificadora. Se han coloreado las diferentes zonas. En azul está todo el espacio dedicado a la manufactura del pan, el amasado, el tratado de la masa, la fermentación y el horneado; estas son las labores más importantes dentro de la panificadora y, como se observa, ocupan la mitad del espacio útil.

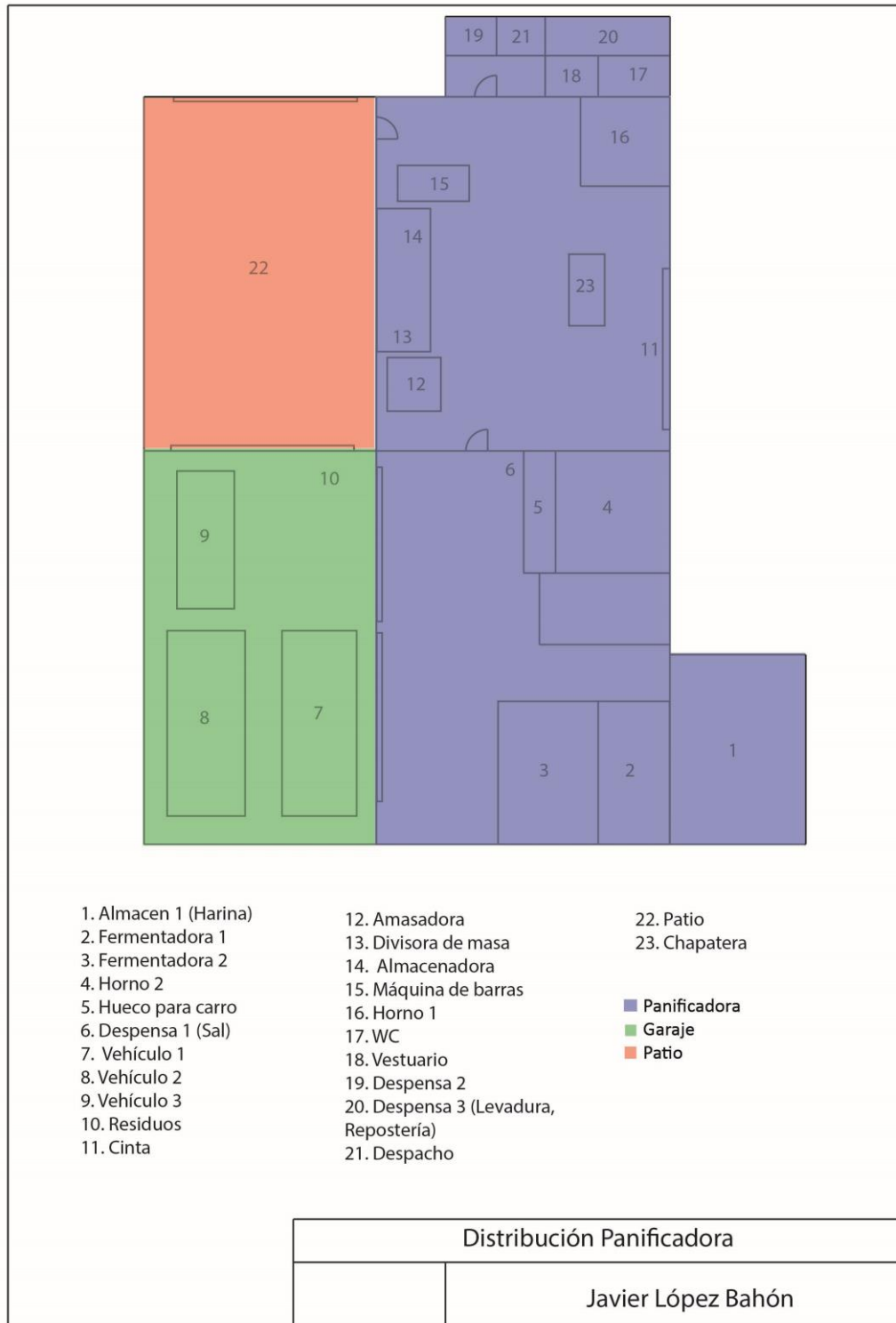


Ilustración 19. Distribución de la panificadora. Elaboración propia

A continuación, en color verde está el garaje donde se encuentran los vehículos de reparto; a esta zona se accede por la parte inferior de la zona azul, mediante unas puertas correderas. Por último, encontramos el espacio en rojo, que es un patio exterior del que aún no se saca ningún provecho y que se plantea cubrir en un futuro para poder ganar ese espacio libre.

Antes de nada, explicar brevemente como se hace el pan. El primer paso para hacer pan es unir los ingredientes que lo forman: agua, harina, sal y levadura. Estos ingredientes se mezclan hasta crear una masa uniforme. Una vez se tiene esta masa se puede reposar directamente o dar la forma que se desee para que fermente de dicha forma.

Se la deja reposar porque la levadura que se ha introducido debe fermentar, este proceso puede durar de dos horas a tres días. El resultado será diferente en función del tiempo de fermentación. Fermentada la masa, el pan está listo para ser horneado: se recomienda una temperatura entre 180°C y 230°C con un tiempo de horneado mínimo de dieciocho minutos, dependiendo siempre del punto al que queramos el pan. Con esto ya tendríamos listo el pan.

Los procesos realizados en la panadería se podrían resumir como los mencionados anteriormente, pero 'a lo grande'. Antes de explicar el proceso, cabe mencionar que, dado que la masa necesita fermentar durante un tiempo, el pan que se manufactura un día no se hornea hasta el día siguiente, por lo que en la panificadora primero se hornea y después se prepara el pan del día siguiente.

En la Ilustración 20 se muestra un diagrama que resume todos los procesos de la panificadora, explicado cronológicamente un día cualquiera. Primero, se retira la masa de la fermentadora y se va introduciendo en el horno. A continuación, se empaquetan los diferentes productos en función del pedido del cliente y se introducen en los vehículos para su reparto.

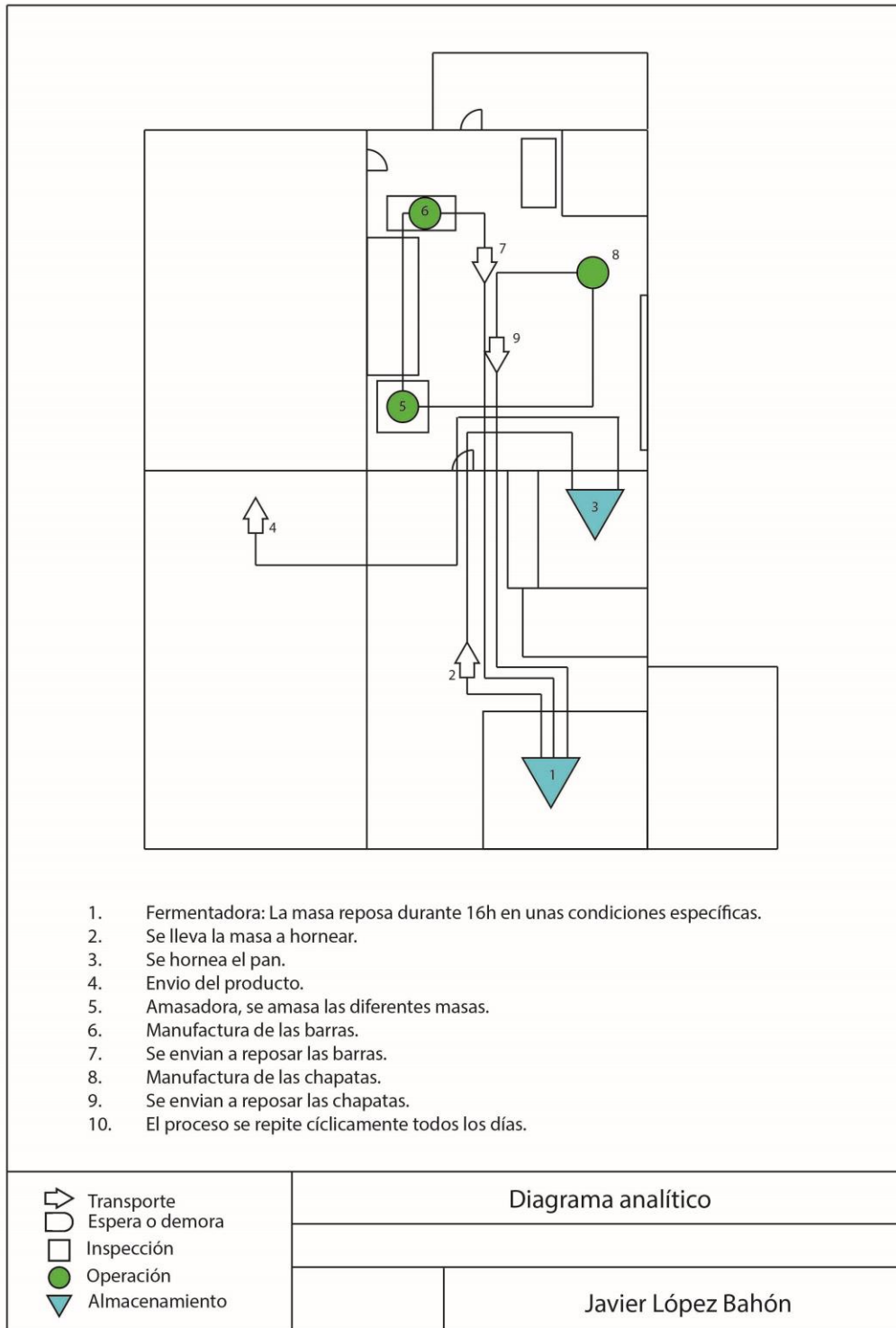


Ilustración 20. Diagrama analítico de la panificadora

Después, se comienza con la manufactura. Se empieza amasando la masa de las chapatas para que repose durante un tiempo antes de ser tratada, luego se amasa la masa de las barras, que pasa a la pesadora, a la almacenadora y a la máquina de barras (se explicarán a continuación) y, por último, se las coloca en tableros y se meten a la fermentadora. Mientras tanto, se van realizando las chapatas en una máquina independiente; una vez terminadas se llevan a la fermentadora. Y al día siguiente se repite el proceso.

A continuación, se explicarán todos los procesos de una forma más extendida. El orden que se ha elegido es el orden que sigue el material dentro de la panificadora.

3. 2. Amasado

La tarea de la amasadora (Ilustración 21) es mezclar los diferentes ingredientes en una masa uniforme. Esta se encuentra en la parte central de la panificadora.



Ilustración 21. Amasadora

El proceso de amasado (Ilustración 22) es uno de los procesos de mayor importancia ya que, en gran medida, el sabor del producto dependerá de este proceso.

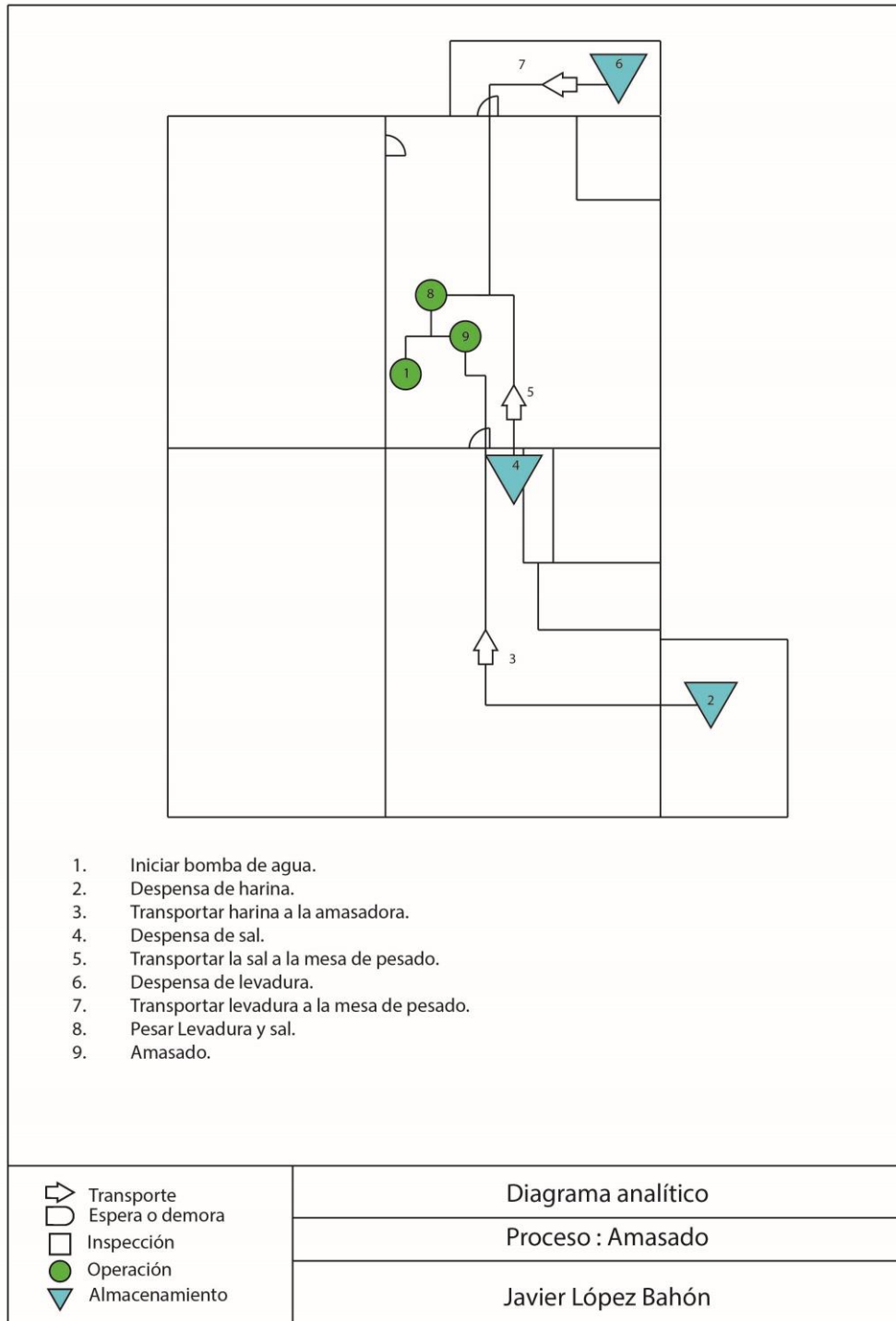


Ilustración 22. Diagrama analítico del proceso de Amasado

La preparación de la máquina es sencilla. Se le incorporan los distintos componentes de la masa. Se comienza con el agua, que se introduce a través de una entrada de agua incorporada en la cuba. La entrada de agua cuenta con una bomba a la que se le indica el volumen y temperatura de agua que se desea y esta lo introduce a la amasadora (Ilustración 23).



Ilustración 23. Contador de agua (cuenta litros).

Se continúa con el principal ingrediente, la harina. Los sacos de harina se encuentran apilados en un almacén y el operario, con la ayuda de un carro, los transporta hasta la amasadora. Después, introduce la harina; esta tarea se puede hacer volcando el saco, ya sea cogiéndolo en vuelo o con la ayuda de una banqueta, o con una pala. Primero, se introduce un saco entero y, a continuación, se introduce el siguiente a paladas por si no requiere tanta harina. Aquí es donde entra en juego el conocimiento sobre la masa del operario ya que, dependiendo de las condiciones ambientales (temperatura y humedad), la masa se comporta de forma diferente.

En último lugar se incorpora la sal y la levadura. Estos elementos se sitúan en lugares diferentes. La sal, que viene en sacos, se encuentra junto a la amasadora, se recoge un cuenco de sal y se deja en la mesa para los amasados que están por venir. La levadura se tiene que conservar en un lugar fresco, por lo que se conserva en un frigorífico en la zona de repostería. Ambos elementos son medidos en una balanza e incorporados a la mezcla.

Durante el amasado no es necesario que el operario esté todo el tiempo pendiente de la máquina, pero sí que debe controlar de vez en cuando que la mezcla es la correcta, por si requiere que se incorpore más harina o más agua; como se ha mencionado, dependiendo de la humedad, la temperatura o cómo esté la harina ese día, puede que requiera una ligera modificación en la mezcla. El proceso dura en torno a 20 minutos por cuba, durante los cuales la cuba va modificando el sentido de rotación y las velocidades.

Una vez la máquina ha terminado el amasado se saca la masa de la máquina. Hay dos posibles casos, cuando la masa es para barras o cuando es para chapatas. En el primer caso, la máquina cuenta con un sistema que mediante un pistón hidráulico hace que bascule la cuba con la máquina entera y derrame la masa sobre la tolva de la máquina siguiente que es la pesadora; de esta forma, en dos minutos la amasadora vuelve a estar lista para procesar (Ilustración 24).



Ilustración 24. Amasadora volcando la masa

En el segundo caso, la masa de chapata no se procesa de la misma forma, por lo que se saca manualmente en porciones de unos 10 Kg en canastas donde reposará durante dos horas. Este proceso es más largo que el de las barras.

Por último, cabe mencionar que la harina para las chapatas es diferente a la de las barras. De ahí que se diferencien tanto; no es solo una cuestión de forma. Esta máquina trabaja al comienzo del proceso de manufactura como es de esperar. Comienza amasando la masa de las chapatas mientras se termina de hornear. Para continuar con la masa de las barras.

3. 3. Manufactura de las barras

Explicado ya el amasado, se explicarán en este apartado los diferentes procesos de manufactura de las barras, empezando por el pesado de las barras, un pequeño reposo, su transformación a barra, otro reposo y su colocación en tableros. La amasadora, la pesadora, la almacenadora y la máquina de barras se entrelazan entre sí formando una línea de producción.

3. 3. 1. Pesado de la masa

En este proceso (Ilustración 25) se divide el gran conjunto de masa en porciones con un peso específico por unidad. Antaño, el obrador pesaba manualmente cada una de las bolas; por suerte, ahora se dispone de una máquina (Ilustración 26) que recoge un volumen de masa y lo divide en pequeñas bolas de un peso específico.

La amasadora derrama la masa sobre la tolva de la pesadora, como se mencionó anteriormente. En la parte inferior de la tolva se encuentra un pistón que succiona la masa de la tolva y la expulsa a la cinta de salida. Esta cinta cuenta con una chapa que cruza diagonalmente la cinta, lo que hace que la masa salga de la cinta de forma esférica.

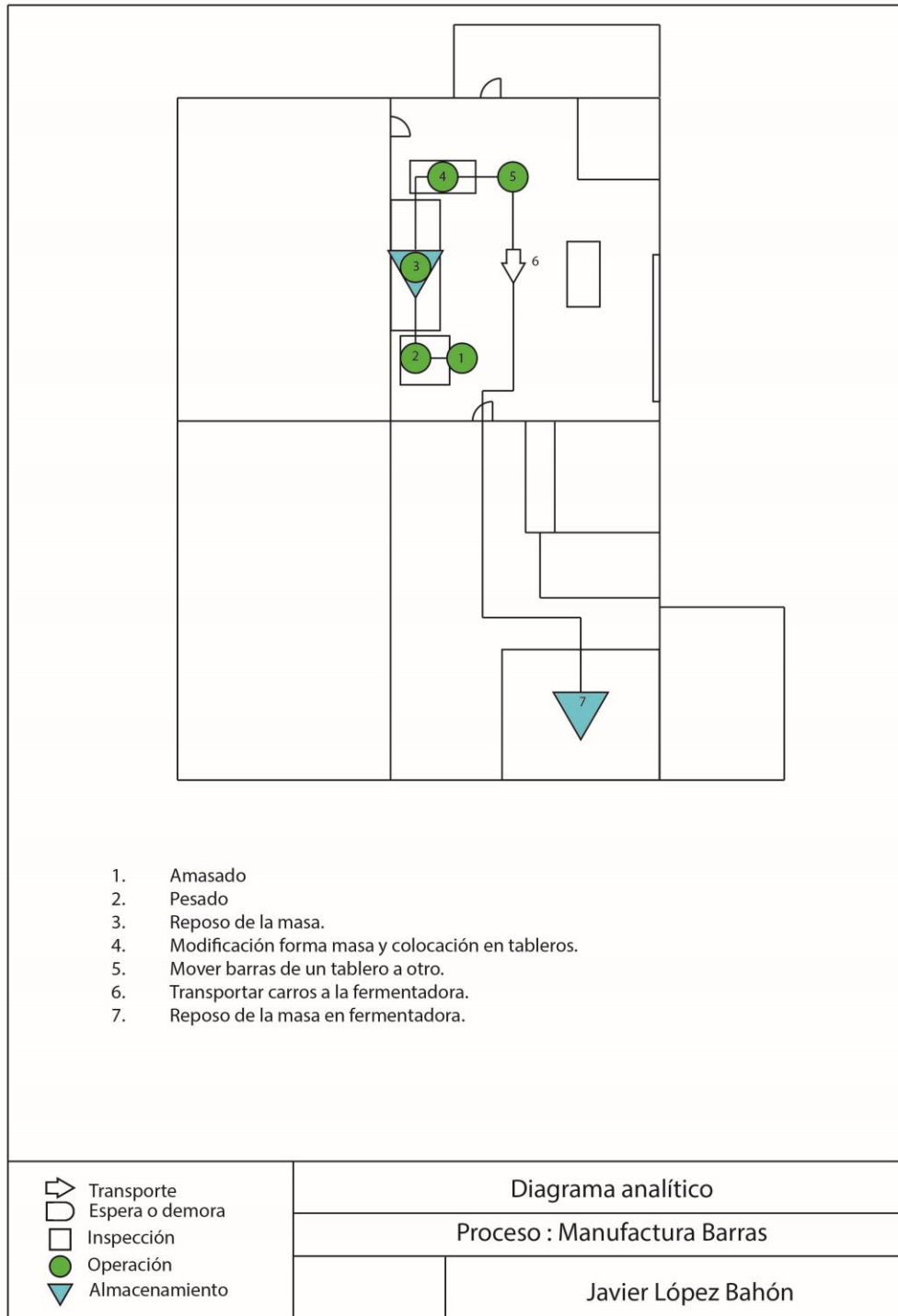


Ilustración 25. Diagrama analítico del proceso de manufactura de barras. Elaboración propia



Ilustración 26. Máquina Pesadora

Antes de dejar que la máquina comience a bolear, se debe comprobar que el peso de las bolas que expulsa es el correcto. Para ello se recogen manualmente todas las bolas que salen de la máquina, un operario las va pesando una a una con la balanza según van saliendo mientras otro calibra la máquina. Una vez el peso de las bolas es el correcto se deja trabajar a la máquina y se vuelven a introducir las bolas que se usaron en la calibración a la tolva.

El único trabajo que requiere la máquina sobre los operarios es rociar con aceite de girasol la tolva antes de derramar la masa, para que la masa no se pegue a la tolva, y limpiar con una paleta regularmente la masa que se pega a la cinta donde esta se bolea.

3. 3. 2. Almacenado y reposo de las bolas

La siguiente máquina del proceso es la almacenadora (Ilustración 27).



Ilustración 27. Almacenadora

En la manufactura del pan, los tiempos de reposo tienen una gran importancia, ya que la fermentación de la masa lo es todo. Es por ello por lo que, una vez se ha boleado la masa, se deja reposar la masa un tiempo. A la máquina le van entrando las bolas de masa que expulsa la pesadora y las agrupa el lote de 6 bolas sobre una cinta, para tirarlas sobre unas telas (Ilustración 28).



Ilustración 28. Almacenadora 2

La máquina se podría decir que es como un circuito, donde entran las bolas en un punto y en el punto anterior salen. Las telas se van llenando hasta que llegan al final del circuito y es entonces cuando se expulsan las bolas. El circuito dura un tiempo aproximado de diez minutos, tiempo suficiente para que repose la masa. Si es necesario, se dejan reposar más, parando la máquina cuando la masa llega al final. La capacidad máxima de la máquina es de 280 bolas.

Como resumen, se podría decir que a esta máquina únicamente hay que darle al botón de inicio y al de parado. Además de comprobar o estar atento a cuando empiezan a salir las bolas para encender la máquina. El único fallo que se puede llegar a tener con esta máquina es que comience a expulsar las bolas y estas se amontonen en la cinta de la siguiente máquina.

3. 3. 3. Transformación de bola a barra

Para pasar de una bola de masa a la forma de la barra (alargada) se introducen las bolas en una máquina que, mediante unos rodillos y cintas, da la forma alargada a la bola. Según expulsa la almacenadora las barras por su cinta de salida a un ritmo constante de tres segundos por bola, estas caen directamente a la cinta de entrada de la máquina de barras (Ilustración 29).



Ilustración 29. Almacenadora depositando bolas de masa sobre la máquina de barras

La cinta las conduce hasta un circuito por el que se transforma la masa, para terminar en una cinta de salida. El ritmo de la máquina de barras es siempre el mismo; si se desea modificar este ritmo se debe cambiar el ritmo de expulsión de la almacenadora.

3. 3. 4. Movimiento de tableros

Continuando con el proceso, la masa sale en forma de barra, como se observa en Ilustración 30 y el operario las va colocando en los ocho tableros de reposo (Ilustración 31) de los que se dispone; estos tableros se disponen en forma de U alrededor de la cinta de salida, facilitando así el trabajo del operario. Cuando se rellena un tablero el operario que coloca las barras comienza a colocarlas en un nuevo tablero y los otros dos operarios apilan el tablero relleno a un lado de la U.



Ilustración 30. Máquina de barras, cinta de salida



Ilustración 31. Tablero de reposo

Sobre estos tableros se deja reposar las barras de cincuenta en cincuenta durante unos quince minutos aproximadamente. Pasado el tiempo de reposo se procede a pasar estas barras de los tableros de reposo a los tableros de los carros. Esta vez, en lugar de dejar la barra según sale de la máquina, el operario coloca la barra sobre el tablero estirándola para que no quede tan ancha. Esto se hace porque cuando la barra fermente esta crecerá, lo que daría como resultado una barra muy ancha y poco estética.

Dentro de los tableros de los carros hay varios tipos. Tenemos, por un lado, el carro que se introducirá al horno de aire (Ilustración 32). Este carro se introduce dentro del horno, por lo que los tableros tienen que ser de acero. Caben catorce unidades por carro y cuenta con quince alturas. Por otro lado, están los tableros del carro del horno principal. Estos tableros son de madera y tienen dos medidas con el mismo ancho, pero diferente longitud. Cada altura del carro se rellena con dos tableros, uno de cada medida. El carro cuenta con doce alturas.



Ilustración 32. Tablero y carro de aire

Según se rellena un tablero este se introduce en el carro y se coloca otro. Mientras se colocan las barras en los tableros estos se apoyan sobre unos taburetes. En el caso de los tableros de madera antes de colocar barras se espolvorea sobre el tablero una harina fina con el fin de que la masa no se pegue al tablero. Normalmente son dos los empleados necesarios para colocar un tablero lleno de barras en el carro, pero lo puedo hacer uno, se hace así porque es más ergonómico. Llenado un carro este se envía a la fermentadora y se continúa con otro.

3. 4. Manufactura de las chapatas

3. 4. 1. Recogida de la masa

Una vez se procesa la masa de las chapatas, esta se introduce manualmente en pequeñas canastas (Ilustración 33). El operario saca porciones de masa manualmente, cortándola mediante un cuchillo si fuera necesario. Una vez vaciada la amasadora, se llevan todas las canastas hasta el almacén de la harina, donde reposará por al menos dos horas. Para facilitar el transporte de las canastas, estas se apilan sobre un carro.



Ilustración 33. Amasadora preparada para sacar la masa de chapata

3. 4. 2. Proceso de manufactura de las chapatas

El proceso de manufactura de las chapatas es mucho más tedioso que el de las barras (Ilustración 34).

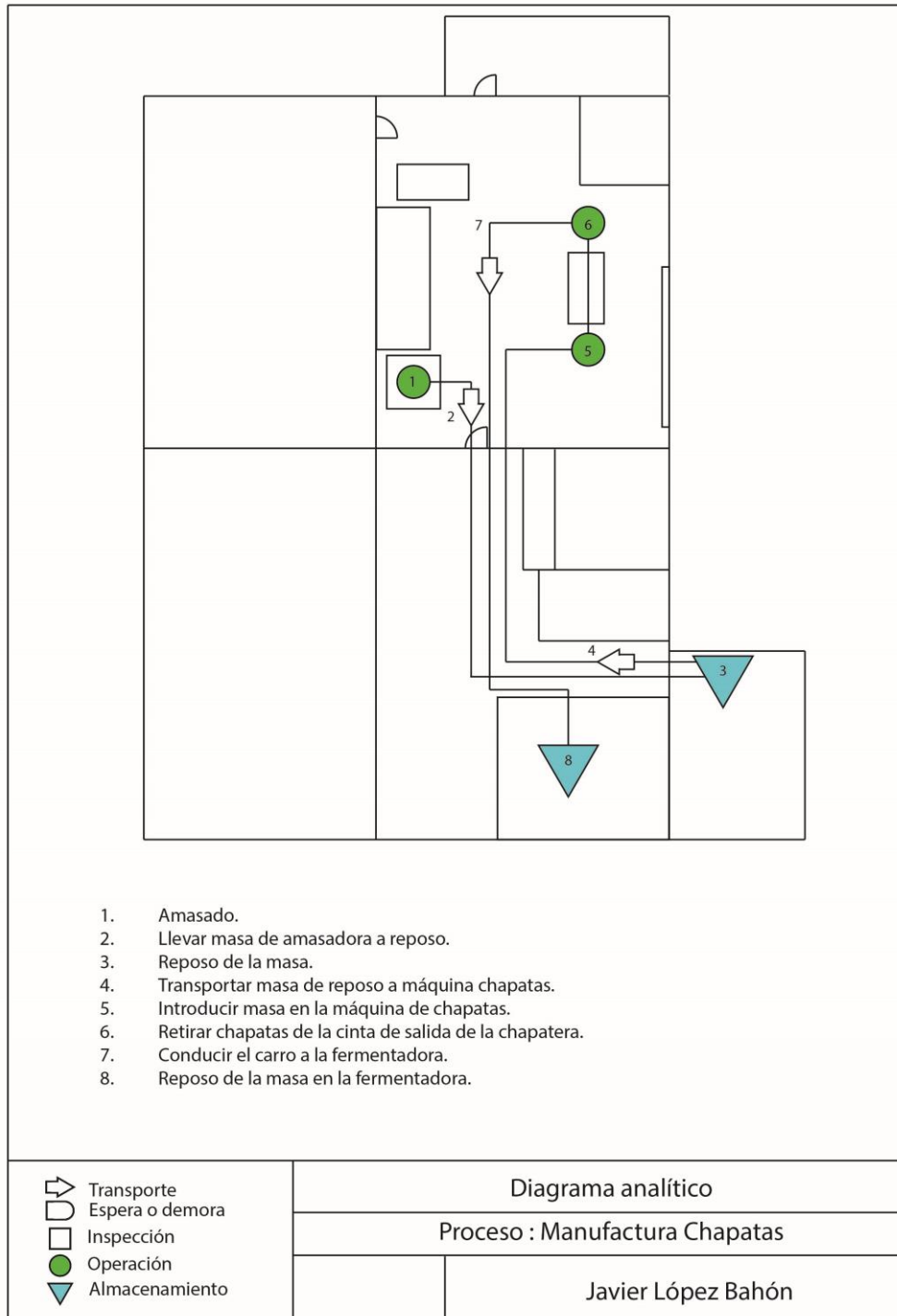


Ilustración 34. Diagrama analítico del proceso de manufactura de las chapatas

Por el momento, ya solo para sacar la masa se requiere mucho más esfuerzo que en el otro. Para comenzar el proceso se ha de colocar la máquina de chapatas (Ilustración 35) en la zona de movimiento de la cinta del horno, como no se va a hornear este espacio queda libre. Entre dos operarios se empuja la máquina hasta su lugar, se sacan las cintas, se enchufa la máquina a la corriente y se verifica que todo esté bien.



Ilustración 35 Máquina de hacer chapatas

A continuación, se van trayendo los carros de masa mientras se van colocando los taburetes, los tableros y los carros. Con todo lo necesario en su sitio, se comienza derramando la primera canasta de masa sobre la cinta de entrada. El operario aplasta la masa por toda la superficie de la cinta, dejando un espesor lo más uniforme posible, y pone en funcionamiento la máquina. Cuando la porción de masa llega a al fin de la cinta, se derrama otra canasta de masa y se vuelve a esparcir por la cinta. Siempre uniendo una porción con otra para no perder la continuidad de la masa.

La máquina procesa la masa mediante rodillos y cortes, dando como resultado un rectángulo de masa. Esta masa procesada sale por el otro extremo de la máquina, donde otros dos operarios esperan a que salgan para ir colocándolas en tableros. De los tableros se pasan a los carros, y de los carros se guardan en la fermentadora, al igual que con las barras.

3. 5. Proceso de horneo

Es la última fase de la producción del pan, pero cronológicamente en el día es la primera, ya que la masa tiene que fermentar durante 12h mínimo. La diferencia entre una masa fermentada correctamente y no es clave a la hora de determinar la calidad de producto.

Para hornear se dispone de dos hornos totalmente diferentes y dos procesos diferentes (Ilustración 36 y lustración 37). El más antiguo es el horno de aire (Ilustración 38). Se le da ese nombre porque el calor que genera es a partir de aire. Para su uso se necesita un carro específico. El carro se introduce dentro del horno, una vez aquí se engancha a un eje superior que le hace rotor para proporcionar una cocción uniforme. Se cierra la puerta y se le programa el horneo.

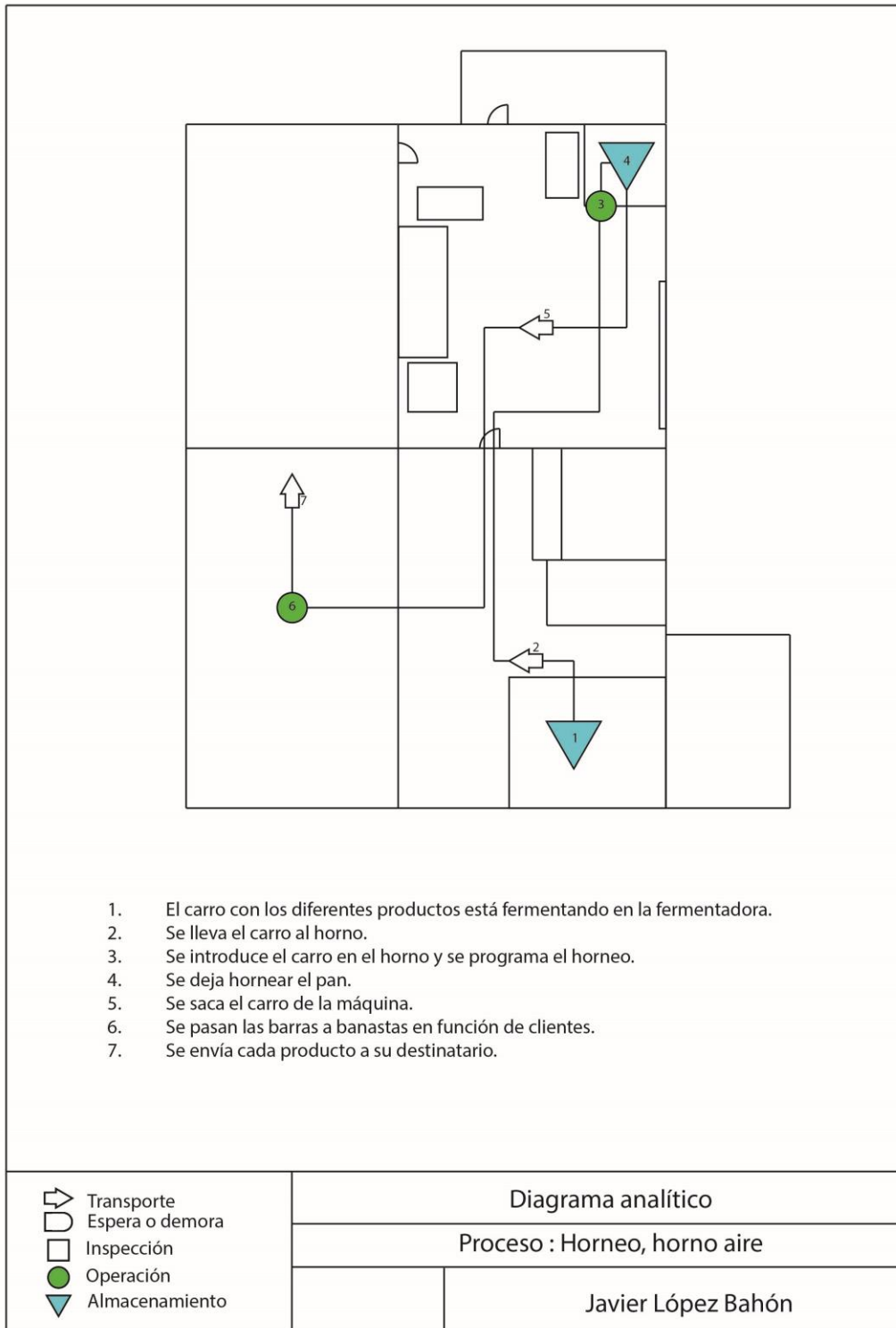


Ilustración 36. Diagrama analítico del proceso horneado, en horno de aire

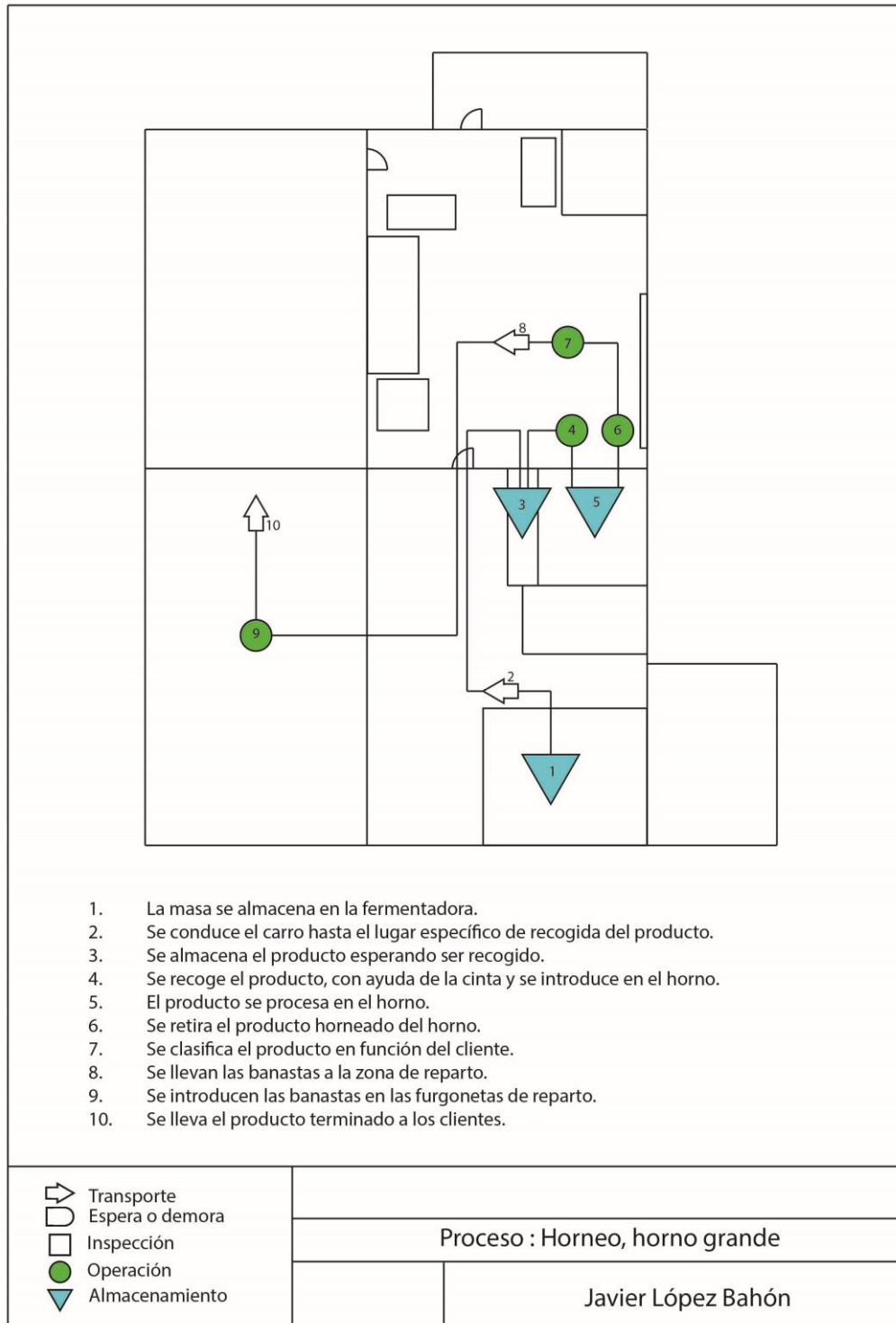


Ilustración 37 Diagrama analítico del proceso horneado, en el horno principal



Ilustración 38. Horno de Aire

Finalizado el tiempo de cocción se retira el carro del horno y ya se puede introducir el siguiente. Este horno, a diferencia del anterior, no mantiene el calor y se tiene que recalentar todas las mañanas.

Para retirar el pan de los tableros, se retira el carro del horno y un operario (siempre con guantes de protección térmica) va retirando el pan manualmente de los tableros y lo introduce en banastas en función de los pedidos de los clientes.

Por otro lado, se tiene un horno de mayor capacidad u horno principal (Ilustración 39). A diferencia del otro, a este no se le introduce el carro por completo y sí conserva el calor durante el resto del día. Para hornear primero se colocan los carros (Ilustración 40) en un hueco que hay de forma paralela al horno. Con una máquina llamada cinta se vacía el carro. La cinta lo que hace es recoger toda una altura de un carro con un brazo telescópico. El brazo telescópico va pasando por debajo de los productos a la vez que la cinta que lo envuelve retiene los productos en un lugar fijo. Por último, se recoge el brazo.



Ilustración 39. Horno principal, a su derecha el hueco para el carro y frente a él la cinta



Ilustración 40. Carros de horno principal reposando en la fermentadora

Esta cinta se sitúa de frente al horno y se mueve paralela a él, de tal forma, que puede atacar todas las bocas del horno, además de al carro. Con la cinta llena el panadero firma (es una jerga que se emplea en el gremio para decir que les hace unos cortes, Ilustración 41) los productos y los introduce al horno, con la cinta.



Ilustración 41. Barras en la cinta siendo marcadas

El funcionamiento para depositar el producto es el inverso al de coger (Ilustración 42). El brazo se estira hasta el fondo del horno con la cinta estática y va encogiendo el brazo mientras la cinta va rotando, creando un movimiento relativo que coloca el pan. Repite el proceso hasta que el horno está lleno.



Ilustración 42. Cinta colocando barras en el horno principal

Pasado el tiempo de cocción una alarma sonora avisa que el pan ya está horneado. Para retirar el pan del horno se emplea la misma metodología, mediante la cinta se recogen los productos, se coloca la cinta a una altura ergonómica y se retiran los productos de la cinta. Los productos se van clasificando según los diferentes clientes mediante banastas. Se colocan una serie de banastas cerca del horno y el operario va distribuyendo el producto según para quién sea cada banasta. Esto se repite hasta que se termina de cocer todo el pan.

Para finalizar, se introducen las banastas en los vehículos en función de su destino, y los repartidores se encargan de hacer llegar al cliente el producto terminado a tiempo.

4 CONSTRUCCIÓN Y SIMULACIÓN DEL MODELO

4. 1. Introducción

A continuación, se explicará cómo se ha programado el modelo de la panificadora. Antes de nada, hay que mencionar que para el estudio que se ha realizado solo se ha tenido en cuenta la producción de barras y chapatas, ya que son los procesos que más carga conllevan. La manufactura de tortas, panetes y repostería, se ha despreciado por varias razones.

En primer lugar, las tortas y panetes que se producen a diario no requieren una gran carga de trabajo; en unos veinte minutos se termina dicha tarea. En cuanto a la repostería, esta no se realiza todos los días, sino que se realiza al terminar la jornada cada tres o cuatro días. La repostería no lleva más de una hora cada vez que se hace, ya que recientemente se ha comprado una pequeña amasadora y una máquina de hacer magdalenas, otra razón más por la que la hemos sacado del modelo. No se tiene previsto realizar ningún cambio a estos procesos ni comprar ninguna máquina nueva por el momento.

4. 2. Modelo

El modelo replica todos los procesos que se tienen en cuenta en la panificadora para manufacturar el pan. Desde el amasado hasta el empaquetado del producto. Como ya se mencionó anteriormente, el objeto de estudio de este modelo es la producción de barras y chapatas, por lo que se han despreciado las tareas de repostería y de productos de baja producción como tortas, panetes y bobos.

Se procederá a explicar el modelo por partes. Estas partes en las que se ha dividido la explicación son las mismas en las que se ha programado el modelo; es decir, primero se programó cada proceso de forma individual y después se unificó todo en un mismo archivo, de esta manera se simplifica la tarea. El ordenador trabaja con un archivo más pequeño y es más sencillo encontrar los fallos según se va programando.

4. 2. 1. Amasadora

El modelo comienza con el amasado (Ilustración 43), para lo que se necesitan los ingredientes. Por ello, el modelo comienza con una procesadora (*BombaAgua*) que simula la bomba de agua, esta procesa durante un tiempo determinado el agua y lo expulsa. A continuación, el operario recoge los sacos de harina, el viaje se simula con una máquina single que procesa el tiempo del viaje (*Carro*). A continuación, la máquina *Meter Sacos* simula la acción del operario a la hora de meter el saco, convierte la entidad *saco* en el fluido harina.

A esta mezcla de fluidos de la amasadora se le añaden la *sal* y la *levadura* que pasan por la máquina *báscula*; la función de esta máquina es la de simular el pesado de los ingredientes y además convierte las entidades *sal* y *levadura* en fluidos. La máquina *báscula* manda los fluidos *sal* y *levadura* a la procesadora *Amasadora*.

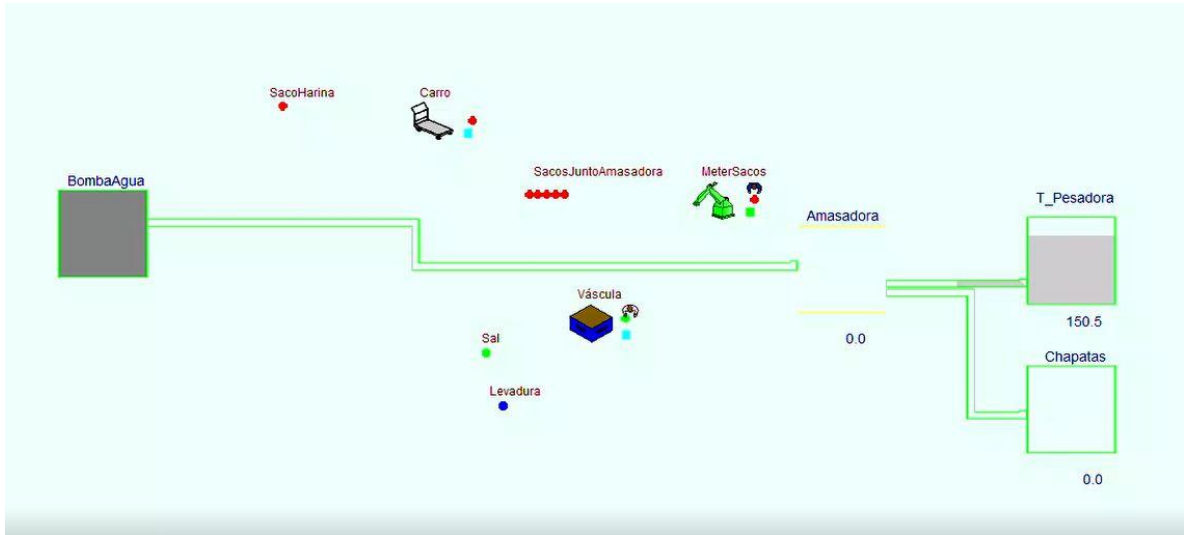


Ilustración 43. Modelo de la amasadora

En la Ilustración 44 se muestra las acciones de output de la máquina Báscula. Para crear una conversión de entidad a fluido, lo que se hace es expulsar de la simulación la entidad mediante el comando PUSH TO SHIP y en el cuadro de *fluid rules* se indica la cantidad del fluido por entidad y a dónde se va a enviar.

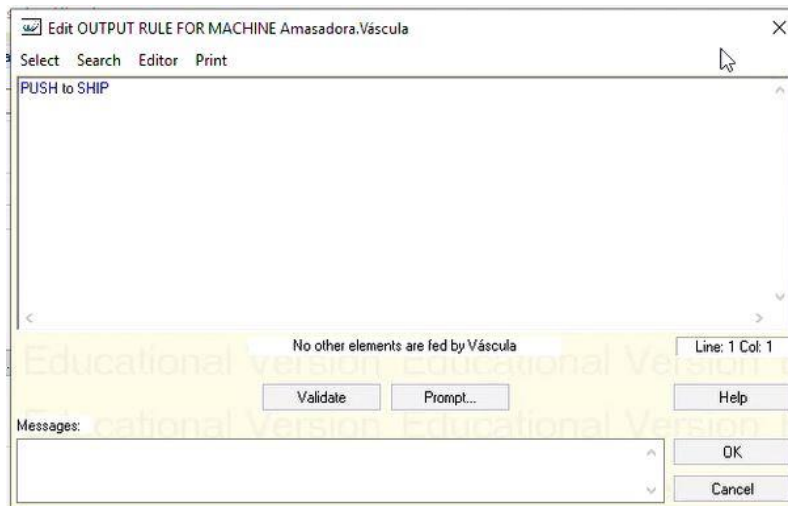


Ilustración 44. Cuadro de regla OUTPUT de la máquina Báscula

Para convertir un Part en un fluido se indica una cantidad (CONTENTS), del volumen que tendrá el fluido, en el cuadro Emptying Detail del apartado Fluid Rules en las especificaciones de la máquina. En el cuadro de To... se indica la regla de salida del fluido. Un ejemplo es la configuración aplicada a la máquina Báscula (Ilustración 45).

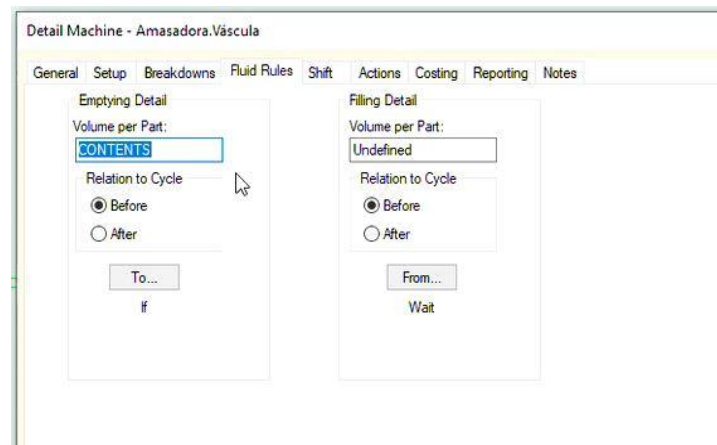


Ilustración 45. Cuadro de máquina Báscula

Como se muestra en la Ilustración 46, la norma para mover fluidos dentro del modelo es con la acción *FLOW* a la que hay que asociar un flujo *RATE*. También se ve el bucle *IF* que se ha implantado para que no se incorporen más ingredientes a la amasadora sin que esta esté vacía, con el fin de simular lo mejor posible la realidad.

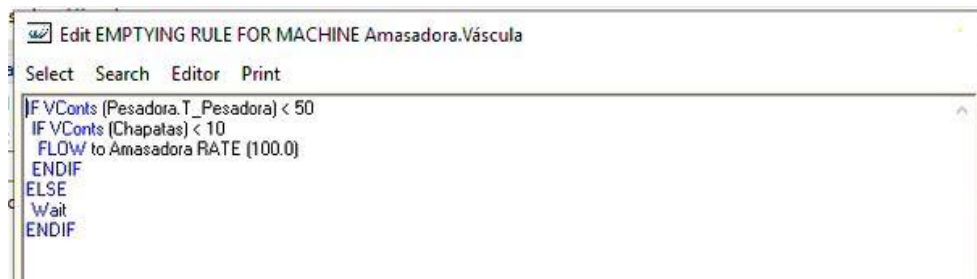


Ilustración 46. Regla de salida de la báscula, dentro de FLUID RULES

Además, hay varias variables encargadas de no iniciar ninguna tarea antes de que la amasadora esté vacía. Es decir, que por ejemplo la bomba de agua no se inicia hasta que la amasadora esté vacía. La metodología ha sido crear una variable a la que se le asigna un valor, por ejemplo 1, y

mediante un bucle *IF* se hace que la bomba de agua solo se active si la variable vale 1. Entonces, al iniciar la tarea se introduce una acción en la que la variable valga 0, y este valor no se modifica hasta que la amasadora termina el proceso. Es entonces cuando salta una acción que cambia la variable a 1 y se repite todo el proceso. Lo mismo se aplica a la máquina de pesar la sal y levadura, y a la que simula la acción de echar los sacos. En estos dos casos el valor para que se activen es 1 y 2, ya que tienen que procesar dos veces antes de que se inicie el amasado.

La amasadora no siempre tiene que expulsar el fluido masa al mismo destino; es por eso por lo que se ha tenido que programar una serie de acciones y salidas que lo simule. Se parte de cinco variables. Tenemos tres variables que hemos denominado variables contador (Ilustración 47); estas variables cuentan el número de veces que una máquina procesa. Dentro de estas variables tenemos una para que cuente el número de procesos de la amasadora, otra que cuenta el número de tolvas que se envían a la pesadora y otra que cuenta el número de amasadoras que se destinan para las chapatas.

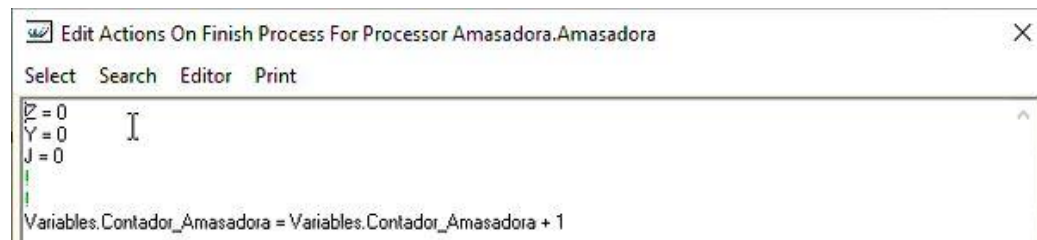


Ilustración 47. Ejemplo variable contador (Variables.Contador_Amasadora)

Además, se programan dos variables, una que indique el número de amasadoras de barras que se desea hacer y otra con el de chapatas. Se implanta un bucle *IF* en la salida del procesador *amasadora* donde si la variable contador de la amasadora es inferior al número de amasadoras para chapatas, se envía al tanque chapatas. Si es superior que dicho número, pero inferior que la suma de las variables: amasadora de chapatas y la de barras, se envía a la tolva de la pesadora.

4. 2. 2. Chapatas

Para entender mejor la descripción de las diferentes máquinas, primero se muestra una imagen del modelo (Ilustración 48).

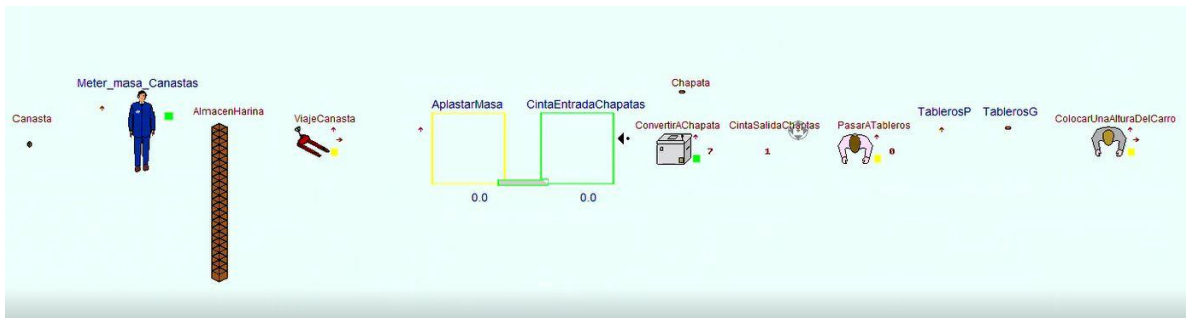


Ilustración 48. Modelo del procesado de chapatas

Primero se conduce la masa hasta un tanque donde una máquina simula la tarea de retirar manualmente la masa en canastas. La máquina funciona a la inversa que el ejemplo ya explicado de la báscula. Se indica la cantidad por pieza en el apartado *Volume per Part* de *Filing detail* y se indica en el *from* de donde se coge dicho fluido. Posteriormente, en la regla de salida de la página General de la máquina se envía al *buffer* que se desee; en este caso lo manda al *buffer* AlmacenHarina. Dicho *buffer* simula el almacén de harina donde se conserva la masa de chapatas.

Ahora comienza el proceso. Una máquina recoge las canastas y las convierte en un fluido (masa), esta simula la acción de coger la canasta y vaciarla. La masa se convierte en un fluido; hace lo mismo que en el ya mencionado ejemplo de la báscula. También se ha incorporado un bucle *if* para que la máquina *ViajeCanasta* no introduzca masa en la procesadora hasta que no tenga un nivel de masa bajo (Ilustración 49). De esta forma simulamos el hecho de que la cinta de entrada de la máquina se ha quedado sin masa y necesita que le incorporen más.



Ilustración 49. Regla INPUT de ViajeCanasta

Con la masa en la procesadora Aplastarmasa la máquina comienza a procesar y envía la masa al tanque CintaEntradaChapatas. Este tanque simula la masa que se está procesando en la máquina. A continuación, la máquina ConvertirAChapata va sacando masa del tanque para convertirla en la entidad chapata. Va sacando de siete en siete, con un tipo de máquina *batch* (Ilustración 50) y los manda a un *buffer*. Este *buffer* sería la cinta de salida de la chapatera. El buffer tiene un máximo, y si se llega a él, la procesadora AplastarMasa se para.

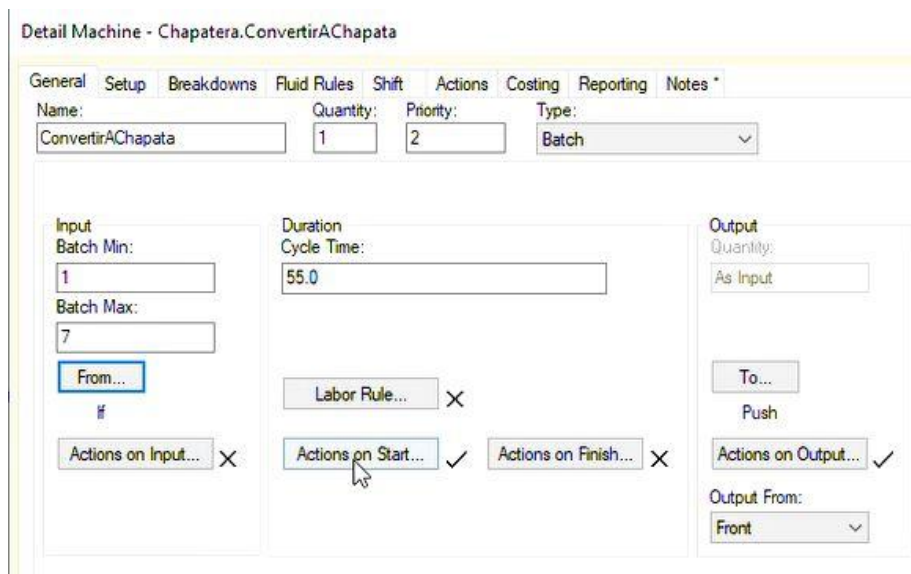
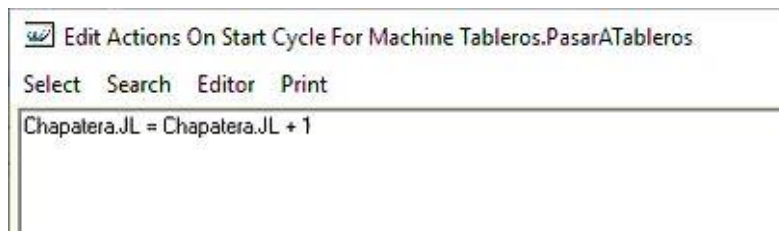


Ilustración 50. Configuración de la máquina ConvertirAChapata

A continuación, para colocar las chapatas en los tableros se dispone de una máquina que va a ir cogiendo del buffer CintaSalidaChapatas la entidad chapata para juntarla con un tablero.

Simularía la acción de introducir un tablero en el carro. Esta máquina es una máquina tipo Assembly que va uniendo alternadamente un tablero con doce chapatas y otro con ocho.

Como se observa en las ilustraciones (Ilustración 51, Ilustración 52, Ilustración 53), según el valor de la variable Chapatera.JL se va a coger un tipo de tablero u otro. Cada vez que la máquina termina de procesar se cambia el valor de la variable para así poder repetir el bucle. La variable Chapatera.Cant2 se utiliza en la regla input para indicar la cantidad de elementos que va a procesar la máquina, por lo que tiene que cambiar junto con la variable Chapatera.JL. Finalmente, se envían los tableros a la fermentadora con una máquina tipo single.

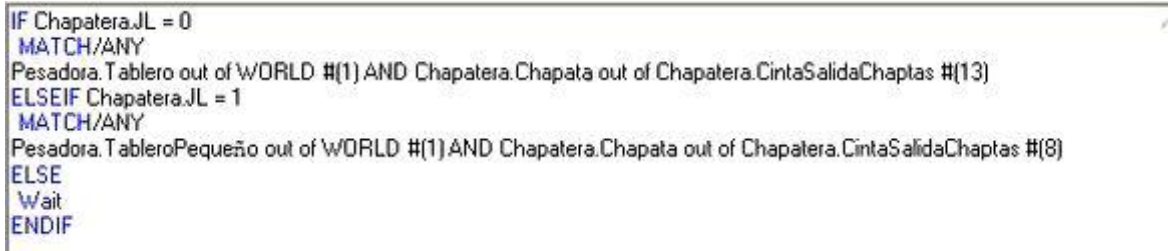


```

Edit Actions On Start Cycle For Machine Tableros.PasarATableros
Select Search Editor Print
Chapatera.JL = Chapatera.JL + 1

```

Ilustración 51 Acción al iniciar la máquina PasarATableros




```

IF Chapatera.JL = 0
MATCH/ANY
Pesadora.Tablero out of WORLD #(1) AND Chapatera.Chapata out of Chapatera.CintaSalidaChaptas #(13)
ELSEIF Chapatera.JL = 1
MATCH/ANY
Pesadora.TableroPequeño out of WORLD #(1) AND Chapatera.Chapata out of Chapatera.CintaSalidaChaptas #(8)
ELSE
Wait
ENDIF

```

Ilustración 52 Norma from de PasarATableros



```

Edit Actions On Finish Cycle For Machine Tableros.PasarATableros
Select Search Editor Print
IF Chapatera.JL = 1
Chapatera.Cant2 = 8
ELSEIF Chapatera.JL = 0
Chapatera.Cant2 = 13
ELSEIF Chapatera.JL = 2
Chapatera.JL = 0
Chapatera.Cant2 = 13
ENDIF

```

Ilustración 53 Acciones al finalizar el proceso de PasarATableros

4. 2. 3. Fermentadora

Para facilitar el modelo se han creado tres *buffers* como fermentadora, una para cada tipo de producto, aunque realmente solo hay dos: uno para las chapatas, otro para las barras que pasan por el horno de aire y otro para las barras que van al horno grande. Realmente hay dos fermentadoras que cumplen la misma función y es indiferente dónde fermentar el producto, ya que el resultado es el mismo.

4. 2. 4. Barras

Para la mejor comprensión de las especificaciones del modelo primero mostrar una imagen del modelo gráfico de Witness (Ilustración 54).

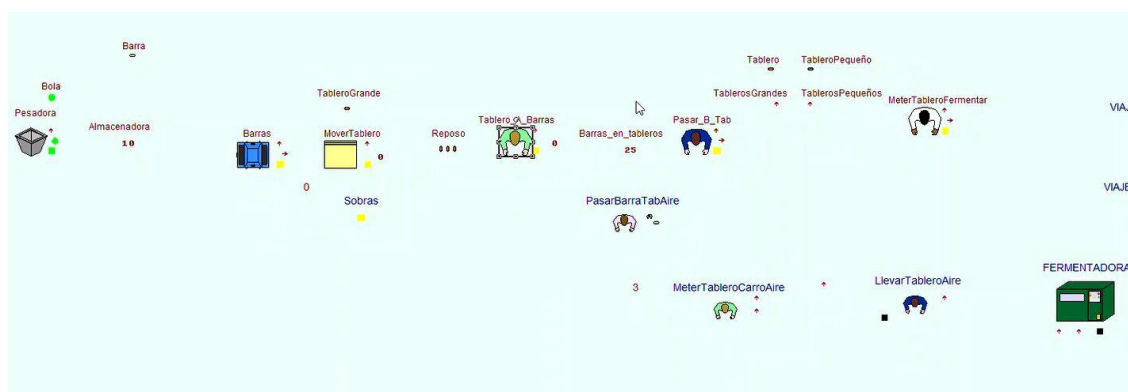


Ilustración 54. Modelado del proceso manufactura barras

El fluido masa llega al tanque tolva que simula la tolva de la pesadora. La máquina pesadora convierte la masa en entidades denominadas Bola. La máquina las manda al *buffer* llamado almacenadora donde reposan un tiempo mínimo programado de diez minutos. Pasado este tiempo, pasan a la máquina de barras, de tipo production, que convierte la bola en barra y la expulsa de la simulación.

Otra máquina recoge las barras a un *buffer* para posteriormente unir las con una máquina *assembly* de 50 en 50. Simulando los tableros grandes donde se deja reposar la masa. A continuación, estos tableros reposan en un *buffer* un tiempo mínimo programado de quince minutos, y se convierten con una máquina *production* en barras. Las barras se pasan a un *buffer* que no tiene nada que ver con la realidad; se ha incorporado únicamente para facilitar la simulación.

Una máquina *single* recoge estas barras de una en una con un tiempo ciclo igual al de recoger la barra, para posteriormente ensamblarlas con una máquina *assembly* en un tablero: diez barras por tablero pequeño y quince por tablero grande. Posteriormente, una máquina, con tiempo ciclo igual al viaje hasta la fermentadora, deposita el tablero en la fermentadora.

El tiempo de la máquina que envía los tableros a la fermentadora es el tiempo que se tarda en llevar todo un carro dividido por el número de tableros. Se ha modelado así por sencillez de modelo y porque se considera que haberlo hecho con una entidad carro no habría aportado grandes cambios al modelo. Cada carro tiene dieciséis alturas y en cada altura entran dos tableros, uno grande y otro pequeño; es por eso por lo que en la simulación, al igual que en la realidad, se alterne el recoger las barras en tablero pequeño y grande.

4. 2. 5. Horneo

A continuación, en Ilustración 55 se muestra el modelo del proceso de hornear. Se diferencia entre dos hornos, el de aire y el convencional. Para el horneo de aire el proceso es más sencillo. Una máquina simula el tiempo ciclo del viaje y coloca los tableros en el horno. El horno se ha simulado como un *buffer*. Se le da un tiempo mínimo por entidad al horno y, pasado este tiempo, una máquina retira los tableros a un *buffer* y luego otra convierte los tableros en barras y las manda a un *buffer*. Lo mismo se hace con las chapatas.

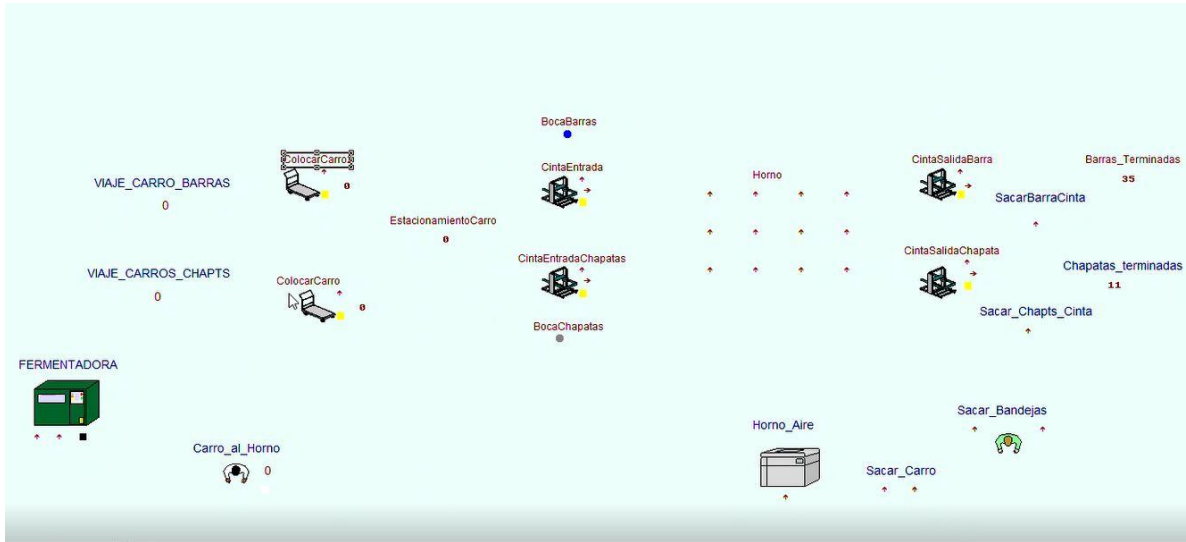


Ilustración 55. Modelado del proceso de hornear

El horneado convencional es más complejo, pero tiene mayor capacidad. Los tableros se depositan en un *buffer*. La máquina cinta recoge estos tableros y le introduce al horno donde pasan un tiempo ciclo mínimo. Pasado el tiempo la cinta recoge las barras, las deposita en el *buffer* de barras antes mencionado. Y pasa por una serie de máquinas que las ensambla en banastas para su posterior reparto.

La cinta ha sido modelada como cuatro máquinas diferentes; mediante variables y bucles se ha logrado que únicamente puede trabajar una máquina a la vez. Se parte de una variable a la cual se le ha indicado en las cuatro máquinas que si inician un proceso debe valer cero y cuando lo terminen cambian la variable a uno. De esta forma, con un bucle *if* al principio de cada máquina en el que exija a la máquina trabajar únicamente si la variable vale uno, se consigue que solo trabaje una máquina a la vez. Además, se le indica que la cinta de salida debe estar vacía para que inicie la acción (Ilustración 56), ya que sin esta regla se bloqueaban las máquinas entre sí.

```

Edit INPUT RULE FOR MACHINE Horno_y_cinta.CintaEntrada
Select Search Editor Print
IF NParts (CintaSalidaBarra) = 0 AND NParts (CintaSalidaChapata) = 0
IF NParts (Horno) < 12
IF AclivadorCinta = 0
MATCH/ANY
BocaBarra out of WORLD #(1) AND Pesadora.Barra out of EstacionamientoCarro #(25)
ENDIF
ENDIF
ELSE
Wait
ENDIF
ENDIF

```

Ilustración 56. Input rule Cinta

4. 2. 6. Reparto

Esta es la última fase de todo el modelo (Ilustración 57), además de la más sencilla.

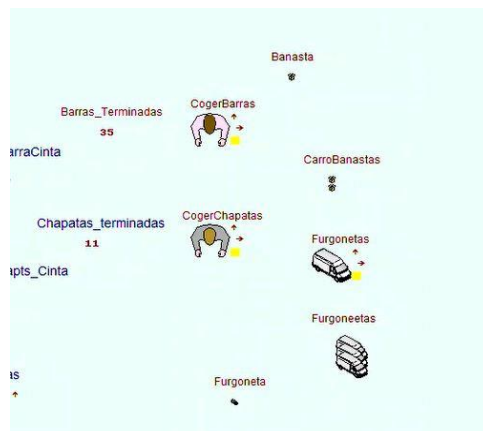


Ilustración 57. Modelado de reparto

Las máquinas Cogerbarras y CogerChapatas recogen las barras y chapatas respectivamente de los *buffers* Barras_Terminadas y Chapatas_Terminadas para unirles con una banasta. Cada banasta se llena con cuarenta unidades. Posteriormente, la máquina Furgonetas une nueve banastas a una furgoneta.

4. 3. Resultados y validación de la simulación

A continuación, expondré los resultados obtenidos más relevantes de la simulación para poder compararlo posteriormente con las nuevas modificaciones. Finalizada la simulación se procede a tomar datos del modelo. Lo primero es comprobar que el modelo encaja con la realidad, es decir, validar la simulación. La producción y tiempos reales se tienen que ver reflejados en el modelo. La producción es similar a la real, que son unas 400 barras y 650 chapatas (Ilustración 58).

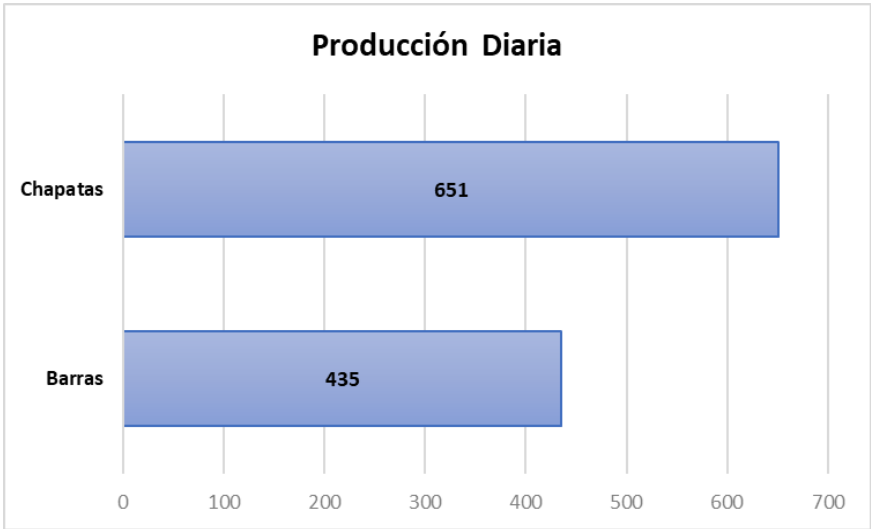


Ilustración 58. Barras y Chapatas producidas. Elaboración propia. Datos procedentes de la simulación

No todos los días son iguales, pero si se produce de media dichas cantidades. Y el horario de producción también encaja pues la simulación comienza a hornear a las 4:00 a.m., se termina a las 6:30 de hornear y a las 11:50 a.m. ya está el último carro en la fermentadora. Dichos resultados son casi idénticos a los que se tienen un día con una producción de dicha cantidad.

Quiero recalcar que la producción utilizada para la simulación es la producción media diaria, ya que algunas temporadas como la de verano la producción se ve incrementada notablemente por turismo rural, y en otras como es el invierno la producción se ve ligeramente reducida. Se observa que la producción de chapatas es superior a la de barras, esto se debe a que la chapata es más demandada. Se tendrá en cuenta a la hora de proponer mejoras.

El tiempo que se tarda en amasar es de aproximadamente veinte minutos. Este tiempo no se podrá modificar, por lo que se mostrarán los tiempos de preparación de la máquina. En la Ilustración 59 se muestran las operaciones implicadas en la preparación de la amasadora.

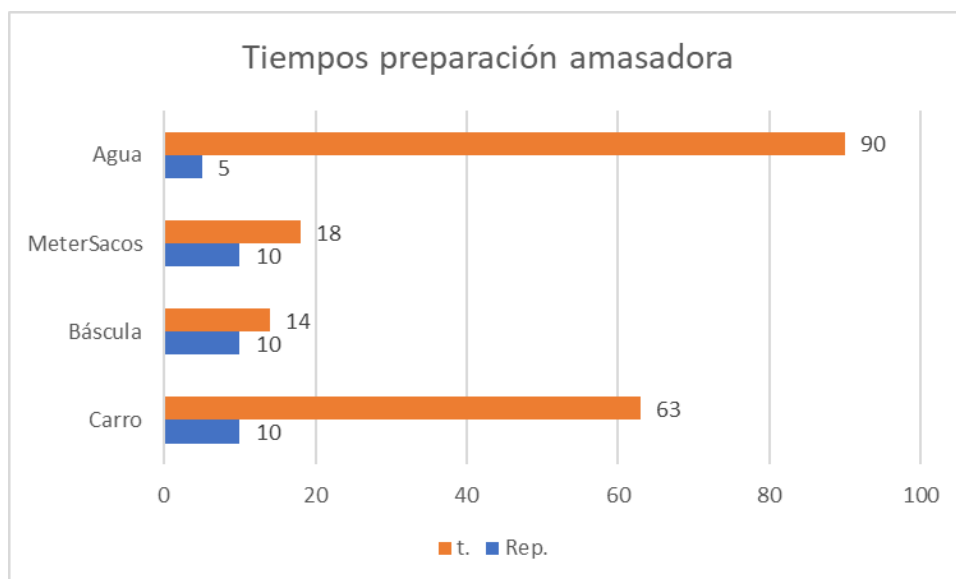


Ilustración 59. Operaciones de preparación de la amasadora. t. (tiempo por operación) Rep. (Repeticiones)

La operación de agua podríamos excluirla porque no quita tiempo al personal, ya que se inicia el bombeo y en lo que tarda en expulsar el agua los operarios realizan otras tareas. Sumando los tiempos se tarda 190 segundos en comenzar un amasado (cada operación se repite dos veces por amasado). Si le añadimos los 20 s de poner en marcha la bomba serían 210 s.

Sobre la manipulación de las barras a la hora de sacarlas de la máquina y colocarlas en los tableros se han tomado los siguientes datos. Se producen, como ya se dijo anteriormente, 435 barras, las cuales se pasan de la máquina a los tableros de reposo. En esta operación se emplean aproximadamente 22 minutos y ocho tableros. Posteriormente, pasados unos diez minutos, se retiran de los tableros y se trasladan a los tableros de los carros. Son 210 las barras que se hornean en el horno de aire y 225 las que se hornean en el horno principal.

De los datos del proceso de horneado destaca el de los productos que se hornean en cada horno (Ilustración 60).

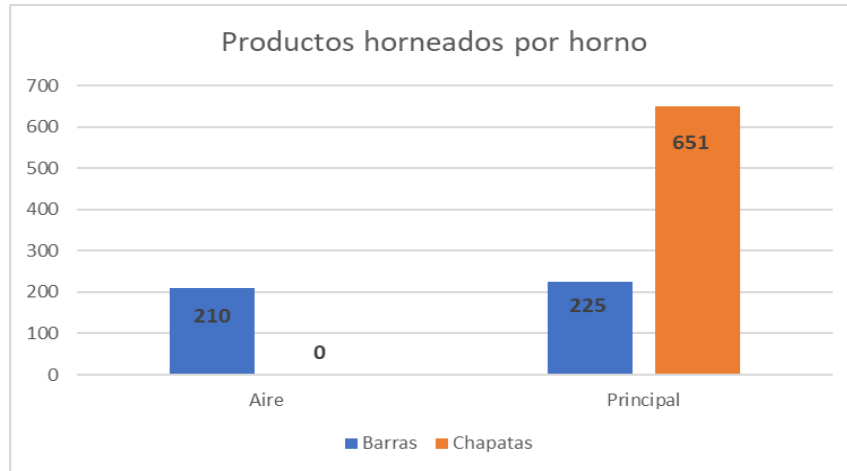


Ilustración 60. Productos horneados por horno. Datos tomados de la simulación

Se observa un claro desbalance que deja al horno principal con una carga de trabajo cuatro veces mayor, cuando la relación de carga entre ellos es de 1,25. Son 210 barras que puede hornear el horno de aire frente a 300 que hornea el principal. La razón principal de esta brecha es que resulta mucho más fácil hornear en el horno principal, ya que el pan se mete y se saca con la cinta, a diferencia del de aire que hay que sacar el pan de los tableros. El proceso de horneado empieza a las 4:00 y finaliza a las 6:40.

Por último, se tomó, el porcentaje del estado de ocupación, en el instante que la amasadora comienza a procesar, de las máquinas que la preparan (Ilustración 61). El amarillo representa el estado ocioso y el verde que está procesando.

Se observa que la máquina Carro es la que más tiempo ha estado trabajado, por lo que se convierte en el cuello de botella.

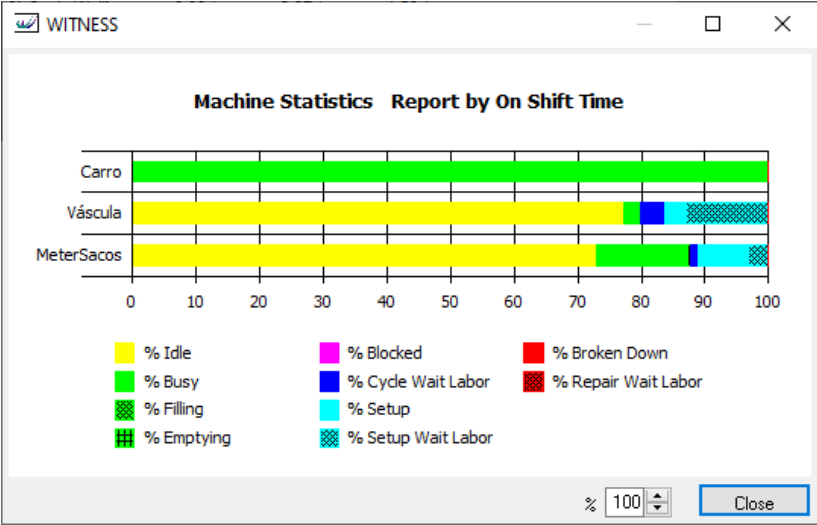


Ilustración 61. Ocupación (%) de las máquinas que preparan la amasadora (Carro, Báscula, MeterSacos)

5 ESCENARIOS ALTERNATIVOS: EVALUACIÓN Y ANÁLISIS

5. 1. Introducción

Tras un exhaustivo estudio de la panificadora, tanto desde la simulación como desde dentro, se ha llegado a la conclusión de que es necesario realizar múltiples mejoras. Recordar los objetivos mencionados en el capítulo Objetivo y alcance: estudiar la instalación de un nuevo horno para aumentar la capacidad de la panadería y mejorar la jornada laboral permitiendo que empiece más tarde; e identificar una nueva distribución de la planta de la panadería de modo que logremos una planta más amplia y mejor organizada.

5. 2. Mejoras a realizar

Se comenzará abordando el primer objetivo, retardar la apertura de la panificadora, es decir, comenzar el horneado lo más tarde posible para que los obradores puedan descansar más y tener

unas mejores condiciones de trabajo. Los procesos que mejorar dentro de este objetivo es el de horneado, ya que el resto de los procesos comienzan a una hora más prudente. Primordialmente, lo que se necesita para poder empezar a hornear más tarde es disponer de mayor capacidad de producción o producir menos. Como producir menos no entra en los planes de la empresa, la mejor opción sería la de aumentar la capacidad de horneado.

Se opta por instalar un horno más en la panadería con intención de mejorar las condiciones de trabajo de los empleados. Como segunda opción, más económica, se optaría por repartir más la carga de trabajo entre los dos hornos, es decir, que el horno de aire trabaje más librando así al horno principal. De esta manera conseguiríamos sacar mayor partido a los dos hornos.

Pasando al segundo objetivo, instalar una fermentadora para poder dedicar más días a la repostería o para dar más días libres a los empleados, es bastante complicado. La labor del panadero es un trabajo diario lo que se traduce en un trabajo muy sacrificado. Ya que los clientes demandan pan del día en sus casas.

En ningún momento se plantea la opción de congelar masa para poder hornearla cuando se plazca. Este tipo de producto no es el que buscan los clientes de Panadería Bahón ni hacia el que está orientada la empresa. Se busca un producto bien fermentado y de calidad. Es por eso por lo que se llega a la conclusión de implantar una nueva fermentadora, con capacidad para las ventas de un día. Se emplearía para alternar con las otras máquinas ya disponibles.

La intención es producir pan para dos días, un sábado por ejemplo y que el pan que se ha introducido en la fermentadora nueva fermente en un ciclo de treinta y seis horas. De esta forma, con el pan producido el sábado tendríamos pan para hornear el domingo y el lunes, pudiendo dar libre el domingo a los encargados de manufacturar el pan.

Por último, no hay que olvidar la identificación de una nueva distribución. Se han pensado varias mejoras con la intención de recortar tiempos muertos e implantar metodología SMED (*Single-Minute Exchange of Die*). El proceso en el que se puede implantar el SMED es en la amasadora. Vistos los cambios anteriores habría que hacer un cambio radical dentro del *lay out*

de la panificadora; es por eso por lo que tener en cuenta la preparación de amasadora es muy importante. Lo primero sería recortar los viajes para preparar la amasadora. Tanto el viaje a por la sal y levadura, que están cada una en un lugar, como el de la harina en la medida de lo posible, ya que el almacén de la harina no se puede mover de lugar.

Otro punto para tener en cuenta es la recogida de barras al salir de la máquina. Diariamente se recogen las barras de la máquina para colocarlas en los tableros grandes donde reposan, para posteriormente moverlas de nuevo a otros tableros, con los que se les introduce a la fermentadora. El motivo de dicha acción es la de que cuando un único operario está sacando las barras, no le da tiempo a colocarlas en los tableros de los carros. Por costumbre ya se sigue haciendo así siempre.

Se plantea la opción de colocar las barras directamente sobre los tableros de los carros, aunque el ritmo de salida de las barras se tenga que reducir un poco. Calculando que se manufacturan 435 barras al día y se gastan aproximadamente tres segundos en colocar una barra de un tablero a otro, serían aproximadamente 22 minutos teóricos los que se ahorrarían diariamente.

La metodología de trabajo sería la siguiente; un empleado se encarga de colocar correctamente las barras sobre los tableros, mientras otro se encarga de retirarle los tableros llenos e ir colocando vacíos. Los tableros se dispondrían alrededor de la cinta de salida en forma de U, al igual que están situados los grandes ahora. Para que el operario desde dentro pueda colocarles cómodamente y el de fuera vaya retirando los tableros y colocando los nuevos vacíos.

Estas mejoras son las se van a poner a prueba en una nueva simulación. En resumen, son: implantar un nuevo horno con una capacidad parecida al ya presente, añadir una fermentadora más, y saltarse el acto de colocar las barras en un tablero para pasarlas a otro.

5. 3. Adaptación de las mejoras al modelo

En este apartado se mostrarán los resultados más relevantes de los diferentes escenarios que se han creado con la intención de lograr los objetivos planteados. Para comenzar, se ha decidido empezar por la modificaciones asociadas al horno, ya que son las de mayor relevancia.

5. 3. 1. Aumentando el número de bocas del horno a 24 bocas

Para empezar, se modifica el número de bocas del horno y se duplica, pasando de 12 a 24 bocas, y manteniendo una única cinta que satisfaga a las 24 bocas y el horno de Aire. Realizada la simulación del nuevo escenario se toman las estadísticas del buffer horno (Tabla 1) y se observa que los datos obtenidos no son lo esperado.

Name	Horno y ci
Total In	40
Total Out	40
Now In	0
Max	16
Min	0
Avg Size	0.44
Avg Time	1341.93
Avg Delay Count	0.05
Avg Delay Time	141.93
Min Time	0.00
Max Time	1877.00

Tabla 1. Estadísticas del Horno tras un día de producción con 24 bocas

Como se observa, el número de máximo de bocas que se llena es de 16 bocas, lo que dejaría un tercio del horno vacío, lo que se traduce a espacio no aprovechado. En consecuencia, se opta por hacer un nuevo escenario con dos hornos de doce bocas y una cinta para cada horno.

5. 3. 2. Introduciendo un segundo horno con 12 bocas y una cinta que lo abastezca

A continuación, se modifica el modelo, se clona el horno y la cinta, y se simula el proceso con dos hornos y dos cintas independientes. Tras analizar los resultados (Tabla 2 e Ilustración 62), se observa que estos no son los deseados, por lo que se dispone a realizar otro modelo.

Name	Horno y cinta.Horno	Horno y cinta.Horno01
Total In	21	19
Total Out	21	19
Now In	0	0
Max	12	10
Min	0	0
Avg Size	0.23	0.32
Avg Time	1374.14	2131.11
Avg Delay Count	0.03	0.14
Avg Delay Time	174.14	931.11
Min Time	1200.00	0.00
Max Time	1628.00	2798.00

Tabla 2. Estadísticas de los dos hornos, con una cinta independiente por horno

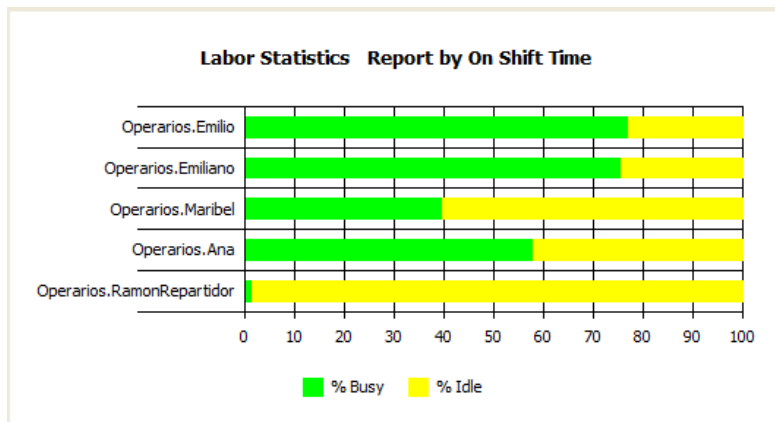


Ilustración 62. Estadísticas de los operarios, con una cinta independiente por horno

Como dos obreros no son suficiente mano de obra para tanta labor, las máquinas se quedan ociosas. Además, se sigue sin satisfacer a todas las bocas del horno, es decir, que se podría realizar la tarea en mucho menos tiempo con dicha maquinaria. Además, a causa de que una cinta no es capaz de satisfacer tantas bocas, no se sacan los productos a tiempo. En la Tabla 2 se observa como el *Avg Time* (Tiempo medio de estancia) del Horno01 es de 2131 segundos, aproximadamente cinco minutos más del tiempo óptimo de cocción.

5. 3. 3. Escenario con dos hornos de 12 bocas, con una cinta para cada uno, el horno de aire y tres operarios horneando.

Para finalizar, se simula un escenario en donde hay dos hornos con dos cintas y, en vez de dos operarios, ahora se cuenta con la ayuda de Ramón. A Ramón se le asignado la tarea de preparar las banastas de los clientes.

Realizada la simulación se obtiene los datos mostrados en Tabla 3 e Ilustración 63. En este nuevo escenario sí se aprovecha al máximo la capacidad del horno. Se llega a reducir el tiempo de cocción pasando de dos horas y tres cuartos a una hora y media. Con este cambio se podrían ahorrar en torno a 1h 15min diarios. Lo que supondría poder abrir la panificadora a las 5:15 am en vez de a las 4:00 am.

Name	Horno y cinta.Horno	Horno y cinta.Horno01
Total In	21	19
Total Out	21	19
Now In	0	0
Max	12	12
Min	0	0
Avg Size	0.21	0.20
Avg Time	1254.62	1354.63
Avg Delay Count	0.01	0.02
Avg Delay Time	54.62	154.63
Min Time	1200.00	1200.00
Max Time	1395.00	1785.00

Tabla 3. Estadísticas de los dos hornos con una cinta por horno y 3 operarios trabajando. Y el horno de aire

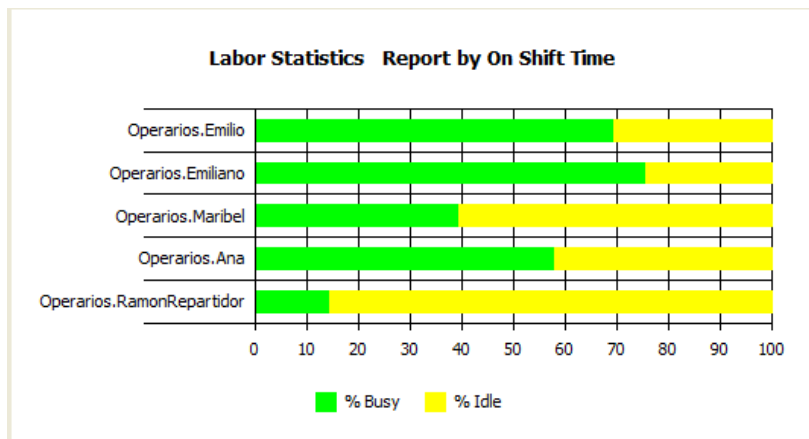


Ilustración 63. Estadísticas operarios con dos hornos, dos cintas y trabajando Emilio, Emiliano y Ramón

5.3.4. Redistribuyendo la carga de horneado entre el horno principal y el de aire

Para contrastar datos, se ha realizado una simulación en la que se mantienen los dos hornos actuales, el de aire y el principal, pero repartiendo más la carga entre ellos. Para repartir la carga de trabajo se ha optado por hornear las barras en el horno de aire (430 unidades) y hornear las chapatas en el horno principal (650 unidades).

Los resultados han sido más o menos los esperados (Tabla 4). Se ha producido una ligera mejora en los tiempos de producción, como era de esperar, la carga de trabajo entre los operarios no se ha visto muy afectada (Ilustración 64), y el tiempo del proceso sí se ha visto reducido. Se ha logrado bajar 20min, lo que es una mejora, pero no tan notable como la que se consigue al implantar dos hornos.

Name	Horno y cinta.Horno	Aire.Horno Aire
Total In	31	30
Total Out	31	30
Now In	0	0
Max	12	15
Min	0	0
Avg Size	0.47	0.91
Avg Time	1353.77	2685.00
Avg Delay Count	0.05	0.36
Avg Delay Time	153.77	1065.00
Min Time	1200.00	1620.00
Max Time	1565.00	3750.00

Tabla 4. Estadísticas de los hornos repartiendo la carga de trabajo entre los dos hornos

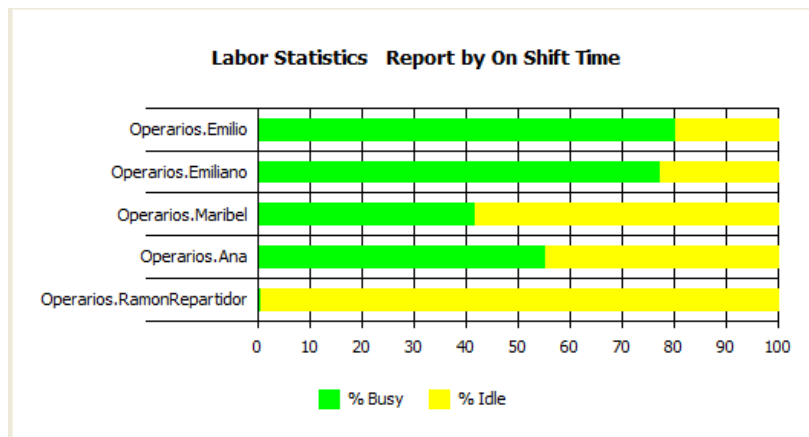


Ilustración 64. Estadísticas de los operarios repartiendo la carga de trabajo entre los dos hornos

5. 3. 5. Utilizando únicamente dos hornos de 12 bocas con las dos cintas y los tres operarios

Para finalizar el tema del horneado se ha simulado un escenario en el que eliminamos el horno de aire y únicamente se utilizan los dos hornos principales (Ilustración 65).

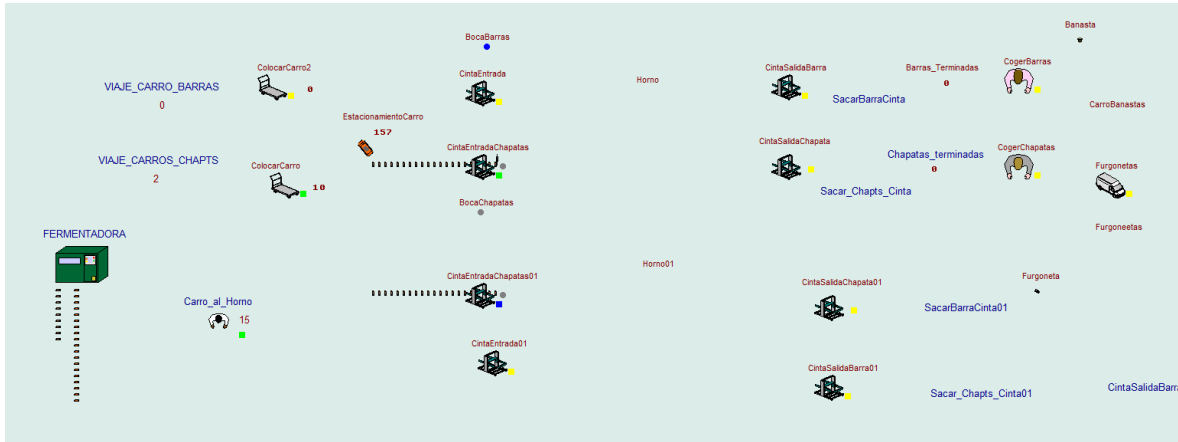


Ilustración 65. Modelo de la panificadora con dos hornos y dos cintas

Los resultados de este escenario (Tabla 5 e Ilustración 66,) han sido muy satisfactorios: el tiempo de horneado se ha visto reducido una hora y cuarto, la carga de trabajo ahora está más repartida entre los trabajadores, se aprovechan todas las bocas de los hornos y los tiempos de cocción son óptimos.

Name	Horno y cinta.Horno	Horno y cinta.Horno01
Total In	25	23
Total Out	25	23
Now In	0	0
Max	12	12
Min	0	0
Avg Size	0.36	0.36
Avg Time	1244.84	1371.04
Avg Delay Count	0.01	0.04
Avg Delay Time	44.84	171.04
Min Time	1200.00	1200.00
Max Time	1338.00	1747.00

Tabla 5. Estadísticas de los hornos, con dos cintas, tres operarios y sin el horno de aire

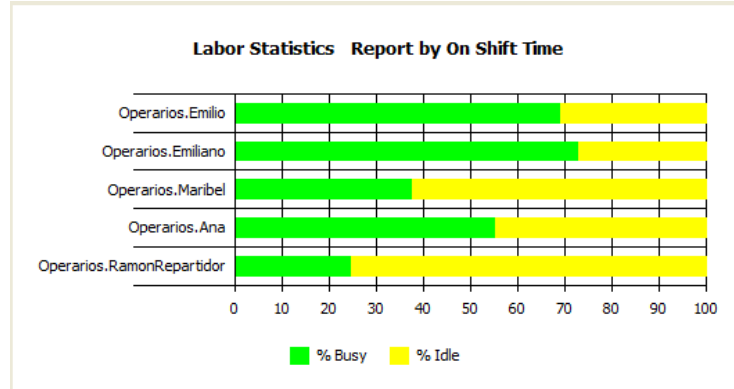


Ilustración 66. Estadísticas operarios, con dos cintas, tres operarios y sin el horno de aire

5. 3. 6. Simulación con el doble de producción

En cuanto a la idea de implantar una nueva fermentadora, se ha procedido a crear un escenario con una producción mucho mayor para comprobar a qué hora acabaría la jornada y verificar que no les lleva más de ocho horas. La carga de producción ha sido el doble de lo programado anteriormente.

Realizada la simulación se comprueba que se terminaría la producción a las 13:37. Por lo que no acarrea una carga de trabajo muy excepcional. Realizado este modelo con el doble de producción se pasa a comprobar una nueva metodología de trabajo en el proceso de las barras.

Se puede observar, en la Ilustración 67, que la carga de trabajo de los trabajadores se ve incrementada porcentualmente a consecuencia de la excesiva carga de producción.

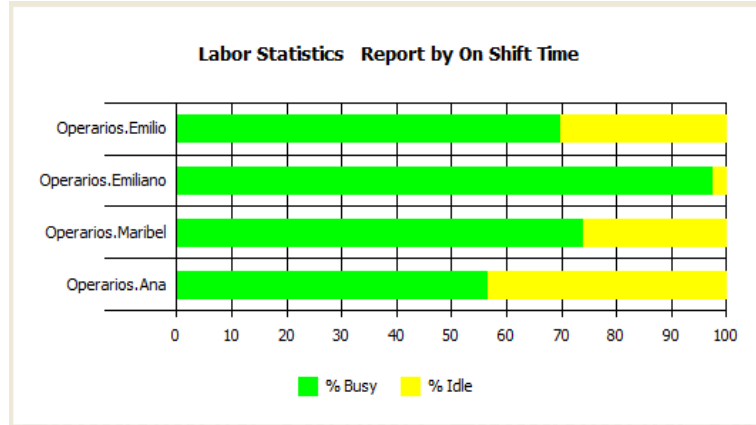


Ilustración 67. Carga de trabajo de los operarios realizando el doble de producción en un día

5. 3. 7. Omitiendo el proceso de reposo de las barras en los tableros grandes

Como se mencionó anteriormente, se desperdicia parte del tiempo en mover las barras de un tablero a otro; se simulará el nuevo sistema de trabajo y se comprobará si es eficaz o no. Para esta simulación se ha prescindido de los tiempos que se tardan en mover las barras entre tableros y se ha reducido ligeramente el ritmo de salida de la máquina que produce las barras. Realizada la simulación se comprueba que los resultados son muy similares y que no ha causado gran influencia sobre el tiempo de producción.

5. 4. Conclusiones de los diferentes escenarios

Tras analizar y simular todos los procesos de la panificadora, probando nuevos escenarios, se ha llegado a las siguientes conclusiones.

En cuanto al problema del horneado, el objetivo principal del cambio es el comienzo de la jornada laboral lo más tardía posible. Vistos los posibles escenarios solo dos son viables y cumplen con el objetivo: el escenario donde se distribuye la carga entre el horno principal y el horno de aire

y el escenario donde se instala un nuevo horno semejante al horno principal que sustituye al horno de aire. Ambas alternativas tienen sus ventajas y desventajas.

El escenario de repartir la carga entre los hornos ya existentes cumple el objetivo de retrasar la apertura de la panificadora, pero no es un cambio muy significativo; a favor tiene que no requiere ninguna inversión adicional. Por otro lado, está la opción de cambiar este horno de aire por un horno semejante al horno principal. Con este escenario sí se logra un cambio significativo a la hora de abrir la panificadora, pero tiene en su contra que requiere una inversión, la del horno nuevo, y la ayuda de un operario más.

Ante este dilema se llega a la conclusión de que la decisión a tomar será la de instalar un nuevo horno con el que poder abrir más tarde la panificadora. La nueva tarea que se le asigna a Ramón tiene la ventaja de que como es él quien tiene el contacto con el cliente, puede elegir el producto en función del cliente al que va destinado.

Atendiendo al segundo objetivo de implantar una nueva fermentadora para producir pan cada dos días, se considera inviable. Vista la carga de trabajo que supone producir 2 000 unidades diarias, no se podría realizar de continuo. Únicamente sería viable para las épocas de baja producción en donde producir en un mismo día la demanda de dos, si se puede cumplir dentro del horario.

Sin embargo, en meses de alta demanda como junio, julio, agosto y septiembre no se podría, ya que muy probablemente se necesitase emplear a otros dos empleados más. Lo que se podría resumir como añadir costes para mantener ingresos, que se traduce en una reducción de los beneficios.

En cuanto a mejoras de metodología Lean como evitar tiempos muertos y trabajos improductivos, se propuso evitar el proceso de reposar las barras en los tableros para después pasarlos de nuevo a los tableros de los carros. Realizado el modelo donde se colocan directamente las barras sobre los tableros de los carros. Con una producción de 870 barras se

logró recortar seis minutos de producción, lo que no supone un cambio muy relevante ya que es una mejora que resta tiempos improductivos.

Visto los tiempos de ocupación de las máquinas que preparan los ingredientes de la amasadora, se propone un cambio en la ubicación de la amasadora. Ya que el almacén de harina no se puede modificar, se opta por mover la amasadora. Ubicándola próxima a la harina se ahorran tiempos de transporte. Para que la medida sea efectiva se debe recolocar la sal en el mismo almacén de la harina y situar el frigorífico donde se conserva la levadura junto a la amasadora.

5. 5. Propuesta de nueva distribución en planta

Si se desean aplicar todos los cambios mencionados, la distribución de la panadería se vería modificada completamente. Es por ello por lo que se ha propuesto una nueva distribución para la panificadora (Ilustración 68). La nueva distribución reportará a la panificadora una disminución de los plazos de fabricación, mayor aprovechamiento del espacio disponible, facilidad en el proceso de fabricación, aumento de la capacidad de producción, reducción del manejo de materiales y facilita los cambios y ampliaciones.

La propuesta requiere grandes cambios. El garaje pasaría de estar en la parte posterior a situarse en el patio, para lo cual se requerirá cubrir el patio e instalar unas puertas entre el patio y la nave. El horno principal no se movería de lugar, pues la instalación de un horno requiere trasladar la salida de gases, cambiar el aislante térmico y recalibrar la cinta; por lo que se opta por dejarlo en el mismo lugar. El nuevo horno de características similares se dispondrá en frente de este, en el hueco que antes ocupaba el antiguo horno de aire, para así poder aprovechar las salidas de gases ya existentes.

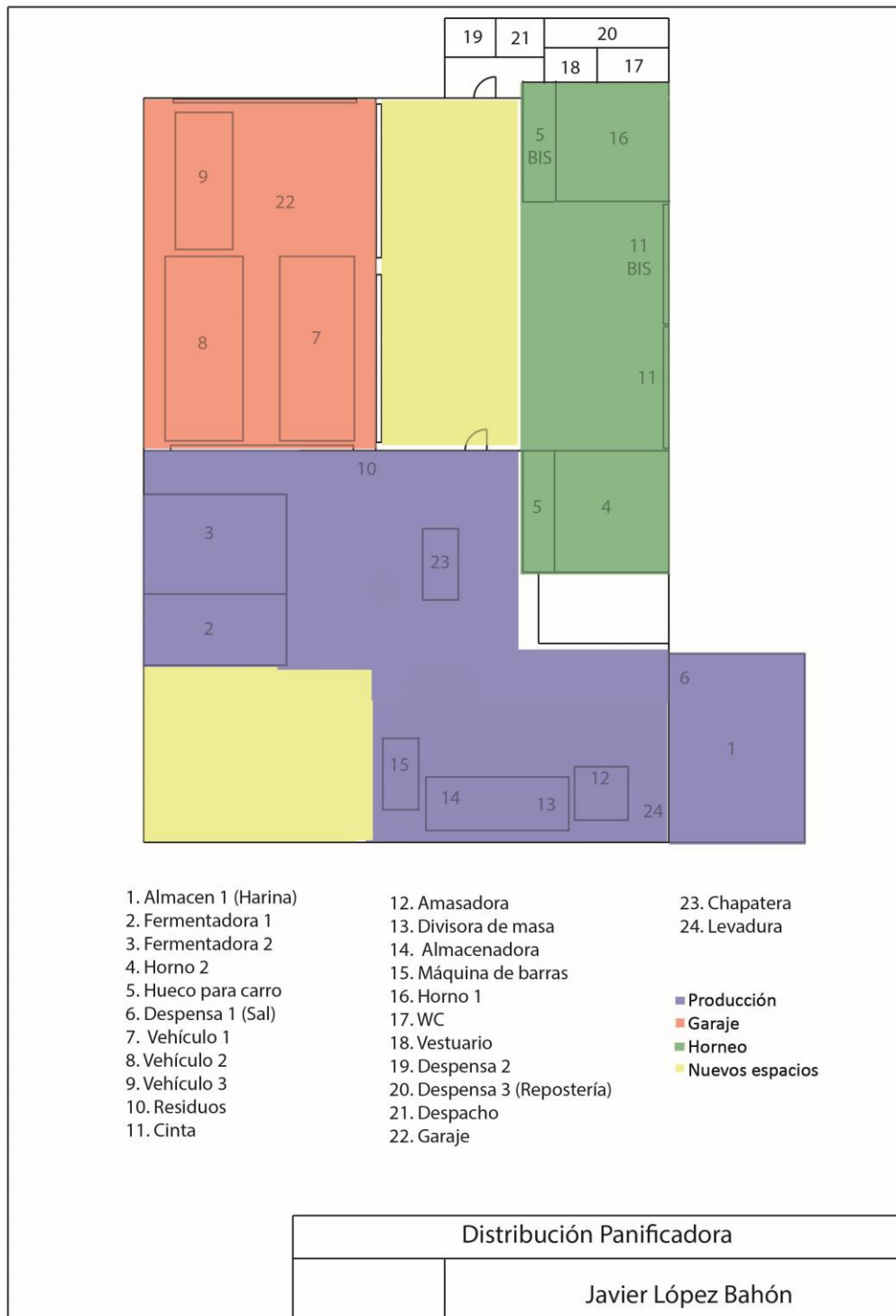


Ilustración 68. Nueva propuesta de distribución en planta

Moviendo el garaje de lugar nos queda libre una gran superficie que se puede aprovechar para colocar las fermentadoras. Quedaría incluso un hueco por si se llevase a cabo la instalación de una nueva fermentadora, en caso de un aumento de producción o si se produce masa para dos días.

Las máquinas que producen los diferentes productos como la chapatera, la amasadora, la almacenadora y la máquina de barras se han movido al hueco que deja libre la fermentadora para así poder colocar la amasadora junto al almacén de la harina y reducir el manejo de materiales lo máximo posible. Además, la sal y la levadura se colocarán en el almacén de harina; esto recortará la distancia de los viajes que se necesitaban para preparar la amasadora.

También se recorta el camino que hace la masa de las chapatas pues una vez sale de la amasadora va directa al almacén de harina que está pegando y después se reduce casi a la mitad el transporte hasta la chapatera.

El espacio que resulta ahora es notablemente mayor que el anterior, se ha ganado todo el terreno del patio que se estaba desperdiciando y se ha repartido por la panificadora. En la zona de horneado queda una zona libre en la que se puede distribuir y cargar el pan de una forma mucho más cómoda que como se hace actualmente. Incluso se podría instalar un horno si en un futuro hubiese un aumento notable de demanda.

A parte del espacio que se ha ganado en la zona de horneado, junto a la fermentadora ahora se dispone de mayor espacio, que podrá utilizarse para mover los carros con mayor libertad. En la anterior distribución había momentos en los que se juntaban varios carros en la panificadora y apenas quedaba sitio para que los obreros se moviesen libremente por ella. Y al igual que con los hornos, si en algún momento se necesitase instalar una fermentadora a mayores habría espacio suficiente

La nueva distribución tiene un flujo de material mucho más continuo y directo que el anterior (Ilustración 69 e Ilustración 70), el recorrido total del material se ha visto disminuido.

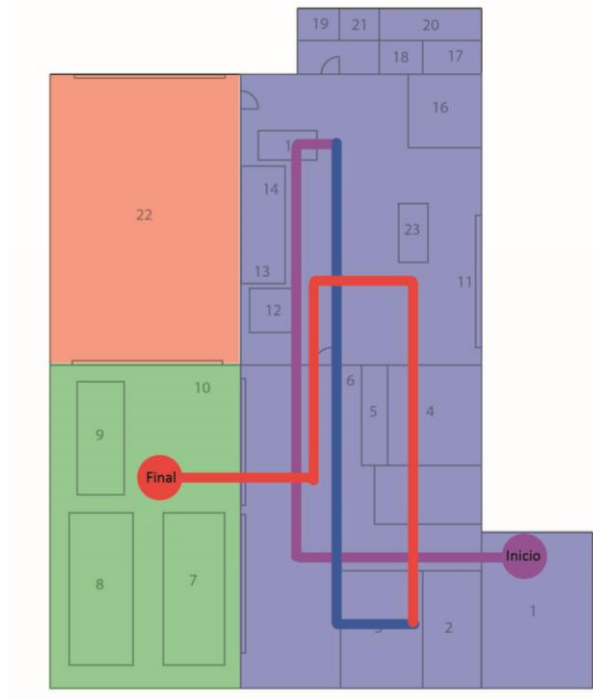


Ilustración 69. Flujo del material, de la antigua distribución

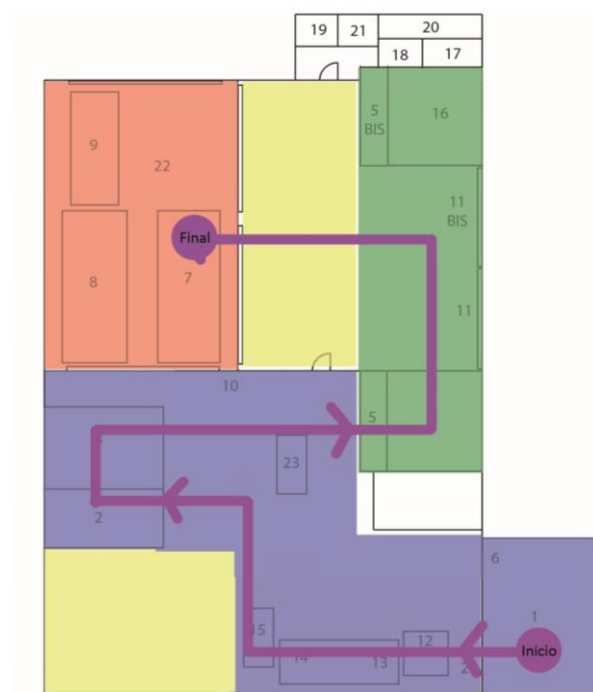


Ilustración 70. Flujo del material, de la nueva propuesta

6 ESTUDIO ECONÓMICO

6. 1. Introducción

A continuación, se mostrará el estudio económico del coste operativo del proyecto. Únicamente se calculará el coste de la realización del proyecto. Con la intención de comprobar si es un proyecto viable o no para la empresa. Este presupuesto, como cualquier otro, es orientativo y no exacto. Para calcular el coste operativo del proyecto se han dividido los costes en costes directos y costes indirectos.

Los costes directos son aquellos costes que se asocian de forma directa al proyecto. Estos, a su vez, se dividen en tres tipos de coste. La mano de obra directa (MOD), que son las personas que se encargan de llevar a cargo el trabajo de forma directa, en este caso sería el ingeniero que realizase el estudio y simulación. El coste de Materias Primas que serían los materiales necesarios para realizar el proyecto; aquí se introduciría el coste del programa Witness. Por

último, la Maquinaria, cualquier tipo de máquina que se emplease en la realización del proyecto.

Por otro lado, están los costes indirectos, que son todos los costes que no se pueden asociar directamente a la ejecución del proyecto. Normalmente, los costes indirectos no suelen estar asociados a un único proyecto, sino que se comparten entre varios, por eso no se pueden identificar de forma directa con el proyecto. Como por ejemplo serían los gastos administrativos. Lo más común es que los costes indirectos se cuenten como gastos fijos. Los costes indirectos se pueden calcular a partir de un porcentaje de la suma de los costes directos o desglosando los costes. En este caso se desglosarán los costes en: Mano de Obra Indirecta (MOI), Costes indirectos de Producción (CIP) y Costes Indirectos Generales (CIG).

Los costes de MOI son aquellos costes asociados a las personas que aportan valor al proyecto, pero sin ser parte directa de él, como serían supervisores o personal de ventas. Los costes CIP son costes asociados a la producción como sería el consumo eléctrico o la amortización del local o nave. Para finalizar, los CIG se podrían resumir como costes administrativos.

6. 2. Planificación del proyecto

Antes de calcular ningún presupuesto el primer paso es la planificación del proyecto. Para posteriormente poder calcular las horas empleadas en cada tarea. Para entender mejor la planificación se ha desarrollado un Diagrama de Gantt. En el que en el eje de abscisas está el tiempo por semanas de trabajo y en el eje de ordenadas las tareas a realizar.

Para poder distribuir la carga de trabajo en jornadas laborales se ha tenido en cuenta el número de horas efectivas dentro de un año (Tabla 6). Teniendo en cuenta esto el diagrama de Gantt se ajustará mejor a la realidad. Se han calculado de la siguiente manera:

Días naturales del año		365 días
Deducciones (en días):		143 días
Sábados	52	
Domingos	52	
Vacaciones	22	
Asuntos propios	5	
Días Festivos	12	
Días reales de trabajo (Dreales = Dnaturales - Ddeducciones)		222 días
Horas de trabajo diarias		8 horas
Horas efectivas al año		1776 horas

Tabla 6. Cálculo de las horas efectivas en un año natural

A continuación, en la Tabla 7 se muestra el Diagrama de Gantt donde se distribuye en el tiempo las tareas realizadas. Las tareas se han agrupado en:

1. Planteamiento del proyecto, objetivos, alcance.
2. Organización de las tareas a realizar
3. Documentación y estudios previos a la realización del trabajo, aprender a manejar Witness
4. Estudio en profundidad de los procesos de la Panificadora
5. Construcción de modelo en Witness
6. Validación del modelo
7. Experimentación del modelo creando nuevos escenarios.
8. Análisis de los resultados obtenidos
9. Planteamiento de la nueva distribución
10. Memoria y conclusiones

Nº Actividad	Actividad	2020																														
		17-2	24-2	2-3	9-3	16-3	23-3	30-3	6-4	13-4	20-4	27-4	4-5	11-5	18-5	25-5	1-6	8-6	15-6	22-6	29-6	6-7	13-7	20-7	27-7	3-8	10-8	17-8	24-8	31-8		
1	Planteamiento	■	■																													
2	Organización de tareas		■	■																												
3	Documentación			■	■	■	■	■																								
4	Estudio Panificadora				■	■	■	■	■																							
5	Construcción Modelo							■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■													
6	Validación del Modelo																	■	■													
7	Experimentación																		■	■	■	■	■									
8	Análisis resultados																						■	■	■							
9	Planteamiento nueva distribución																								■	■						
10	Memoria y conclusiones																									■	■	■	■	■	■	

Tabla 7. Diagrama Gantt programación del proyecto de redistribución de planta

6. 3. Costes del proyecto

Analizados todas las tareas realizadas en el proyecto, se procede a calcular sus costes. Se comenzará por los costes directos para continuar con los costes indirectos y se finalizará con un presupuesto total del trabajo.

6. 3. 1. Costes directos

En este proyecto solo se han contado costes de mano de obra directa, el ingeniero y el jefe de proyecto y el coste material de los elementos de oficina.

6. 3. 1. 1. Costes MOD

Como mano de obra directa únicamente se han empleado las horas de trabajo del ingeniero, que este caso sería el alumno y de un jefe de proyecto (Jefe P.), que sería el tutor. A continuación (Tabla 8), se mostrarán las horas de trabajo con las que se ha calculado la MOD.

Primero, se hace una estimación del número de horas que emplea cada trabajador en realizar las diferentes actividades (las mostradas en el diagrama de Gantt). Para después, con la ponderación por horas del salario, calcular la MOD.

Nº Actividad	Actividad	Horas de trabajo	
		Ingeniero	Jefe P.
1	Planteamiento	12	2
2	Organización de tareas	16	0
3	Documentación	65	1
4	Estudio Panificadora	55	0
5	Construcción Modelo	320	35
6	Validación del Modelo	35	1
7	Experimentación	35	5
8	Análisis resultados	15	1
9	Planteamiento nueva distribución	45	5
10	Memoria y conclusiones	85	0
Horas de Trabajo Totales por trabajador		683	50
Horas de Trabajo Totales		733	

Tabla 8. Horas de trabajo totales

En la Tabla 9 se muestra el cálculo salarial por horas de casa operario

	Ingeniero	Jefe P.
Sueldo Bruto	25 829,00 €	37 530,00 €
Cotización Seguridad Social	9 040,15 €	13 135,50 €
Coste total Anual	34 869,15 €	50 665,50 €
Coste por hora de trabajo (1776 h efectivas)	19,63 €	28,53 €

Tabla 9. Salario por hora de cada trabajador¹.

¹ Salarios extraídos de la página: <https://es.indeed.com/salaries/jefe-de-proyecto-Salaries>

Ahora se calcula el coste total de la MOD del proyecto (Tabla 10):

COSTES MANO DE OBRA DIRECTA (MOD)	Ingeniero	Jefe P.
Tiempo trabajado (h)	683	50
€/h	19,63 €	28,53 €
Coste total por trabajador	13 409,70 €	1 426,39 €
Coste Total	14 836,09 €	

Tabla 10. Coste de MOD

6. 3. 1. 2. Coste de material

Aunque aparentemente un proyecto teórico no aparente tener coste material alguno, no es así. Se mostrarán a continuación los costes materiales del proyecto. Los materiales empleados han sido un ordenador Asus ZenBook 14, un teclado Logitech K120, ratón HP X500, el monitor HP 22w, el software Windows 10, junto con el Pack Office y el programa Witness.

Aquellos materiales que han sido adquiridos para más proyectos a parte de este se les aplicará una tasa de amortización anual que a continuación se ponderará según los meses que se emplee. Por ejemplo, el material de oficina (ordenador, teclado, ratón y monitor) se amortizará a 4 años es decir a una tasa anual del 25%.

En cambio, las licencias de los softwares (Witness, Microsoft y Office) son anuales, por lo que no se le aplica más que la amortización mensual. A continuación, se ha realizado una tabla donde se muestran los costes materiales, con la inversión inicial de cada uno, multiplicada por la tasa de amortización correspondiente, resultando el coste estimado del material (Tabla 11).

Por último, para calcular el total de los costes directos se suma el coste material y el coste de personal (Tabla 12).

	Inversión	Tasa Amortización Anual	Amortización anual	Amortización mensual	Mese de empleo	Coste
Ordenador	749,00 €	25%	187,25 €	15,60 €	6	93,63 €
Monitor	109,00 €	25%	27,25 €	2,27 €	6	13,63 €
Teclado	12,66 €	25%	3,17 €	0,26 €	6	1,58 €
Ratón	9,99 €	25%	2,50 €	0,21 €	6	1,25 €
Windows	14,99 €	100%	14,99 €	1,25 €	6	7,50 €
Office	69,00 €	100%	69,00 €	5,75 €	4	23,00 €
Witness	30 000,00 €	100%	30 000,00 €	2 500,00 €	2	5 000,00 €
Total	30 964,64 €					5 140,58 €

Tabla 11. Coste Material

Coste de personal	14 836,09 €
Costes de materiales directos (amortización)	5 140,58 €
Total, costes directos	19 976,67 €

Tabla 12. Total, costes directos

6. 3. 2. Costes Indirectos

Se procede a mostrar los costes indirectos del proyecto, entre los cuales se encuentran los gastos de luz, de alquiler, calefacción y otros servicios (Tabla 13).

Arrendamiento local	6 meses	500,00 €	3 000,00 €
Calefacción y Climatización	6 meses	80,00 €	480,00 €
Servicio de limpieza	6 meses	120,00 €	720,00 €
Telecomunicaciones (Internet y línea móvil)	6 meses	140,00 €	840,00 €
Consumo eléctrico	6 meses	30,00 €	180,00 €
Agua	6 meses	4,00 €	24,00 €
Administrativos	20% MOD		2 967,22 €
Total, MOI			8 211,22 €

Tabla 13. Coste de Mano de Obra Indirecta (MOI)

4. 3. 1. Costes totales

A continuación (Tabla 14), se muestra el presupuesto total desglosado. El coste total del proyecto es de 28 187,89€.

Presupuesto del Proyecto: Estudio de redistribución de la planta de una panificadora mediante simulación						
CONCEPTO	DESCRIPCIÓN					IMPORTE
Ingeniero	683 horas		19,63 € /h			13 409,70 €
Jefe de Proyecto	50 horas		28,53 € /h			1 426,39 €
Total, personal						14 836,09 €
	Inversión	Tasa Amort. Anual	Amort. anual	Meses de empleo	Amort. mensual	
Ordenador	749,00 €	25%	187,25 €	6	15,60 €	93,63 €
Monitor	109,00 €	25%	27,25 €	6	2,27 €	13,63 €
Teclado	12,66 €	25%	3,17 €	6	0,26 €	1,58 €
Ratón	9,99 €	25%	2,50 €	6	0,21 €	1,25 €
Windows	14,99 €	100%	14,99 €	6	1,25 €	7,50 €
Office	69,00 €	100%	69,00 €	4	5,75 €	23,00 €
Witness	30 000,00 €	100%	30 000,00 €	2	2 500,00 €	5 000,00 €
Total	30 964,64 €					5 140,58 €
Total, costes directos						19 976,67 €
Arrendamiento local				6 meses	500,00 €	3 000,00 €
Calefacción y Climatización				6 meses	80,00 €	480,00 €
Servicio de limpieza				6 meses	120,00 €	720,00 €
Telecomunicaciones (Internet y línea móvil)				6 meses	140,00 €	840,00 €
Consumo eléctrico				6 meses	30,00 €	180,00 €
Agua				6 meses	4,00 €	24,00 €
Administrativos				20% MOD		2 967,22 €
Total, MOI						8 211,22 €
Total						28.187,89 €

Tabla 14. Presupuesto total proyecto

CONCLUSIÓN Y LÍNEAS FUTURAS

Introducción

Para finalizar el trabajo, se exponen las conclusiones a las que se ha llegado tras haber experimentado todo el proceso de simular la panificadora. Entre ellas el cumplimiento de los objetivos marcados, la utilidad de la simulación en la toma de decisiones, consejos a la hora de modelar y la continua renovación de las empresas para mantenerse competitivas.

Además, se propondrán futuras propuestas para continuar en la mejora del proceso productivo y de la empresa en general. Como simular el resto de los procesos de la panificadora, realizar estudios económicos del impacto de la nueva distribución e implantar metodología de trabajo LEAN y mejora continua.

Conclusiones

Finalizado el trabajo se llega a una serie de conclusiones. En primer lugar, concluir que gracias al software Witness se ha podido simular el proceso productivo de la panificadora y se han logrado cumplir los objetivos previamente marcados.

Tras realizar varios escenarios con diferentes alternativas, se llega a que solo dos de ellas satisfacen con el primer objetivo: la que reparte la carga de trabajo entre los dos hornos de una forma más equitativa y otra en la que se cambia el horno de aire por un horno de mayor capacidad.

La segunda opción genera unos resultados notablemente mejores que la primera, ya que repartiendo la carga entre hornos ahorramos veinte minutos, pero con la segunda propuesta este tiempo se eleva hasta una hora y cuarto. Por lo que, finalmente, se decide sustituir el horno de aire por un horno con mayor capacidad.

Después se realizó una simulación en la que se duplicaba la producción diaria. Así se comprobaría si los recursos de la panificadora son capaces de manufacturar dicha cantidad. Tras realizar la simulación y obtener los resultados, se observa que la carga de trabajo de los operarios es notablemente mayor a la anterior y que se finaliza la producción fuera del horario de los trabajadores.

Con estos resultados se concluye que implantar una nueva fermentadora, para producir en un día la producción de dos, es una solución inviable y que no aporta valor a la empresa. Tras analizar los resultados se llega a la conclusión de que la única causa económicamente viable que justifique la instalación de una fermentadora sería que las existentes no tuviesen la capacidad suficiente como para procesar la producción de un día.

Por último, se ha propuesto una nueva distribución en planta de la panificadora. La distribución se ha realizado en función de la posición de los hornos, ya que la reposición de los hornos

requiere instalar nuevas salidas de gases. Siguiendo el mismo argumento el nuevo horno se instala en el lugar del antiguo para aprovechar las salidas de gases existentes.

Se ha ampliado la zona útil, pasando el garaje al patio exterior. Las máquinas se han colocado de una forma más continua conforme al proceso, ahora la amasadora irá junto al almacén donde se conservarán los ingredientes y el resto de las máquinas del proceso productivo (pesadora, almacenadora, máquina de barras y chapatera).

La fermentadora se ha situado próxima a las máquinas (pesadora, almacenadora, máquina de barras y chapatera) y se ha habilitado un espacio entre estas para la circulación de los carros, evitando el problema de espacio que había antes.

Gracias al trabajo realizado, he podido comprobar la utilidad de la simulación en el mundo de la industria. Gracias a esta herramienta ha sido posible el estudio de la nueva distribución propuesta, con gran facilidad. Sin la simulación sería una propuesta menos afianzada, y aleatoria.

La realización de la simulación me ha ayudado a entender mejor todos los procesos de la panificadora, a la hora de estudiar el sistema se olvidan algunos puntos que cuando toca programar enseguida se echan en falta y se acaban descubriendo los puntos débiles y fuertes casi antes de acabar el modelo.

Es satisfactorio ver como un modelo que requiere muchas horas de trabajo termine siendo recompensado al poder aplicarle modificaciones de una forma rápida y sencilla.

Gracias al software Witness, tomar la decisión sobre la nueva distribución ha sido mucho más fácil, ya que se han podido prever algunos puntos que de forma analítica no habrían resultado. De esta forma, se puede estar mejor preparado para lo que venga.

La programación en Witness es bastante sencilla, pero hay que ser precavidos a la hora de modelar. Siempre se debe validar un modelo antes de trabajar con él, ya que de lo contrario se

estaría trabajando con datos incorrectos y todas las conclusiones a las que se llegase serían erróneas.

Cabe destacar que Witness es una herramienta más potente de lo que parece, que en un principio se hace cuesta arriba programar el modelo, pero que en cuanto se aprenden las reglas y acciones se avanza rápidamente.

El modelo ha ido sufriendo varias modificaciones durante su construcción, pues se iban ocurriendo mejores maneras de representar el sistema según se iba aprendiendo más sobre el programa. Para la programación del modelo, este se dividió por módulos en función del proceso a modelar.

La principal razón para trabajar así fue que, debido al confinamiento sufrido por la pandemia, no se pudo acceder a los laboratorios de la universidad, y únicamente se tenía acceso a la versión estudiantil de Witness. Como esta versión únicamente permite trabajar con veinte elementos en un mismo escenario, para poder avanzar el trabajo, se optó por trabajar así.

No resultó ser mala idea, pues al final se hizo más fácil validar los resultados, porque ya se validaba cada uno de los procesos independientemente cuando se programaban los módulos. Cuando estos se juntaron no requirió mucho trabajo validar el modelo por completo.

Una vez se estudian los procesos objeto de estudio (todos los que afectan al proceso de manufactura de las barras y las chapatas), y se tiene un modelo validado, se procede a experimentar con el modelo, se plantean varios escenarios con diferentes modificaciones en los hornos. Además, se puso a prueba la capacidad de la panificadora duplicando su productividad.

De todos los escenarios que se crearon el que mejor se adaptaba a los objetivos es el que cuenta con dos hornos, con las dos cintas y el trabajo de tres operarios. Aunque repartir la carga de trabajo del horno principal con el horno de aire era una solución válida, sustituir este horno por uno con un 42% más de capacidad, se considera la mejor alternativa.

Con este cambio el proceso de horneado se ve reducido drásticamente hasta casi la mitad, pudiendo decir que se cumple con el objetivo de comenzar la jornada laboral más tarde, dando la misma calidad y a tiempo. Además, con este aumento de capacidad, se da la oportunidad de un crecimiento de la panadería, con mayor capacidad productiva se puede producir más sin que exija grandes cargas de trabajo adicionales.

Con la propuesta de cambiar un nuevo horno por el otro, se comienza a pensar en una distribución en la que entren todos los elementos en la panificadora. El nuevo horno irá en el lugar donde se encontraba el viejo horno de aire, para aprovechar las salidas de gases ya existentes. El nuevo horno requiere de un espacio que anteriormente estaba libre, lo que provoca que haya que mover todas las máquinas, ya que se exige volver a distribuir todas las máquinas, se abre la oportunidad de redistribuirlas con una visión hacia el futuro y crecimiento de la empresa.

La nueva propuesta de distribución de las máquinas facilita el proceso de producción, ahora se disponen de forma que cada proceso está junto al proceso que le precede. Además, se han habilitado espacios con la intención de que el personal y los carros tengan mayor libertad de movimiento.

La propuesta de instalar una fermentadora más ha sido descartada porque no se considera una tarea primordial, pues tras simular un día con el doble de producción se le exigen grandes cargas de trabajo a los empleados y esto afectaría negativamente a su ánimo. Además, un ciclo de fermentación tan largo no obtiene la misma calidad que el ciclo que se emplea. Esto provocaría que cada día hubiese una calidad diferente. Por estas razones se descarta la propuesta de instalar una fermentadora más.

La nueva distribución propuesta mejora la capacidad de producción, lo que da pie a un crecimiento de la Panadería Bahón y asienta las bases para una planta con mayor productividad. La antigua distribución daba algunos problemas, como son el tiempo en hornear y el espacio libre para el movimiento de carros. Con esta nueva propuesta, aunque no vaya a

reportar beneficios económicos directamente, si mejorará la calidad de trabajo y posibilita un crecimiento de la empresa.

Todas estas decisiones sobre la panificadora han sido posibles gracias a la simulación realizada con el programa Witness. Se ha podido trabajar con nuevos escenarios de la panificadora mientras esta seguía operando. De otra forma el coste hubiese sido mucho mayor al tener que realizar los cambios directamente en esta, lo que podría ocasionar fallos y costes añadidos.

Además, la simulación posibilita probar nuevas máquinas dentro de la panificadora. Esto en la realidad no sería posible, ya que instalar una nueva máquina con el único propósito de comprobar si beneficia a la empresa o no, es una idea disparatada.

Por último, hay que destacar que este trabajo ha sido posible gracias a los conocimientos que he ido adquiriendo durante mi paso por la Universidad de Valladolid, es todo un privilegio poder implementar estas innovadoras herramientas de software al tradicional negocio de la familia, la Panadería Bahón.

Líneas futuras

Este trabajo ha demostrado que la simulación aporta datos que ayudan a implantar mejoras en la empresa. No dejaría en el olvido la simulación y propondría seguir trabajando con esta metodología siempre que se pueda, con el propósito de crear una mejora continua dentro de la empresa.

Como posible mejora de este trabajo, se podrían simular aquellos procesos que no se simularon por considerarse menos relevantes que los de las chapatas y las barras. Estos son la repostería y la producción de tortas, panetes y bobos.

Modelar dichos procesos y experimentar con la simulación hasta dar con una metodología óptima, para posteriormente juntarlo con el modelo creado en este trabajo, para tener simulados todos los procesos de la panificadora por completo.

Con la realización de un estudio económico al detalle de la nueva distribución, calcularíamos el coste del nuevo material y de las modificaciones. También calcular el tiempo que se tardaría en amortizar dicha inversión, y el beneficio económico que esta daría.

Además, se propone implantar un proceso de mejora continua. Se comenzaría identificando aquellos recursos que limiten el rendimiento global de la panificadora, para poder elaborar un plan que aproveche al máximo estos recursos que limitan la panificadora.

Se continuaría, subordinando el resto de los recursos de la panificadora a los recursos que limitan el rendimiento global, para que el resto de los recursos les suministren la cantidad justa. Después, para aumentar el rendimiento global, se reducen las limitaciones detectadas;

Ahora el comportamiento global habrá cambiado y saldrán nuevas restricciones en otros puntos, por lo que se debe repetir el proceso continuamente.

Por último, aplicar Lean Manufacturing a la empresa. El Lean Manufacturing es una metodología que persigue mejorar y optimizar los procesos de producción minimizando o eliminando las actividades que no añaden valor al producto, y maximizando las funciones que si aportan valor al cliente.

Dentro de los despilfarros se encuentran: sobreproducción, tiempos de espera, transporte, sobre procesamiento, inventarios, movimientos, defectos y desaprovechamiento del talento humano. El fin de reducir o eliminar estos despilfarros es el de lograr un mejor producto, reducir costes y, consecuentemente, aumentar beneficios.

Libros:

García Sánchez, Álvaro, Ortega Mier, Miguel y Izquierdo Delgado, David (2012). *Elementos de simulación. Un enfoque práctico con Witness*. Universidad Politécnica de Madrid

Guasch Petit, Antonio, Piera Eroles, Miguel Ángel, Casanovas García, Josep y Figueras Jové, Jaume (2002). *Modelado y Simulación. Aplicación a procesos logísticos de fabricación y servicios*. UPC (Universitat Politècnica de Catalunya).

Lanner Group Ltd (2013) *Learning WITNESS Book One - Manufacturing Performance Edition*.

Lanner Group Ltd (2013) *Learning WITNESS Book Two - Manufacturing Performance Edition*.

Ortega Mier, Miguel y García Sánchez, Álvaro (2010). *Primeros pasos con Witness*. Escuela técnica superior INGEN

Puche, J. F., Andrés, J. J., Gómez, J., López, R., Santa, S., & Sanz, J. (2005). *Guía Práctica para la Simulación de Procesos Industriales*. Centro técnico del Mueble y la Madera de la Región de Murcia.

Ríos Insua, David, Ríos Insua, Sixto, & Martín Jiménez, Jacinto (1997). *Simulación: Métodos y Aplicaciones*. Universidad de La Rioja

Páginas web:

Autor desconocido: *Witness 13, experimenta y optimiza (13 de junio de 2013)*. Recuperado el 7 de septiembre de 2020: <https://www.addlink.es/noticias/witness/2066-witness-13>

Página de Lanner: <https://www.lanner.com/en-us/>. Última visita septiembre de 2020.