

# Incorporación de cobots en líneas de producción de queso mozzarella

**Romera, Nahuel Hernán**

[nahuel.romera@usal.edu.ar](mailto:nahuel.romera@usal.edu.ar)

*Facultad de Ingeniería, Universidad del Salvador (Argentina).*

**Caminos, Antonio Andres**

[andrescaminos@frsc.utn.edu.ar](mailto:andrescaminos@frsc.utn.edu.ar)

*Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Santa Cruz (Argentina).*

Fecha de recepción COINI: 08/07/2022<sup>6</sup>

Fecha de aprobación RIII: 07/02/2022

## RESUMEN

En una empresa Pyme dedicada a la producción de productos lácteos se analiza la viabilidad de incorporar cobots en la línea de producción de cilindros y barras de queso mozzarella. En la situación actual, dos empleados se ocupan del llenado en el proceso final de la línea de producción mediante un proceso manual susceptible de errores producto de distracción y/o cansancio durante un turno diario de 12 horas de trabajo continuo. Se analiza mediante un programa de simulación la conveniencia de incorporar cobots en la tarea de envasado en cilindros de mozzarella, siendo el cobot el responsable de llenado y cierre de los cilindros, los cuales luego, un operario se encarga de llevar a las cámaras de frío para acondicionar el producto para su despacho. Con detalles de tiempos de trabajo manual de los operarios y automáticos por parte del cobot se analiza la productividad y la eficiencia en la cantidad de productos terminados. El modelo de simulación además de analizar toda la línea de producción permite optimizar la cantidad de operarios que la planta necesita. A través de múltiples simulaciones de diferentes escenarios se construyen intervalos de confianza de la operación en estado de régimen que permiten determinar un conjunto de indicadores que permiten a su propietario determinar la efectividad y conveniencia de la incorporación de un cobot a su línea de producción. El análisis de múltiples escenarios permite seleccionar la mejor combinación de operarios de producción y cobots que en conjunto producen los mejores resultados de productividad y eficiencia.

**Palabras Claves:** Ingeniería Industrial, Producción, Simulación, Cobots, Anylogic.

---

<sup>6</sup> **Artículo Premiado** en el XV COINI 2022

## **Incorporation of cobots in mozzarella cheese production lines**

### **ABSTRACT**

The viability of incorporating cobots in the production line of mozzarella cheese cylinders and bars is analyzed in a SME company dedicated to the production of dairy products. In the current situation, two employees take care of the filling in the final process of the production line through a manual process susceptible to errors due to fatigue or distraction during an uninterrupted 12-hour daily shift. The convenience of incorporating cobots in the packaging task associated with mozzarella cylinders is analyzed through a simulation program, with the cobot being responsible for filling the cylinders, which an operator is then responsible for taking them to the cold chambers for conditioning the product to dispatch. With the details of the manual work times of the operators and automatic work process of the cobot, productivity and efficiency of the finished products are analyzed. The simulation model, in addition to analyzing the entire line production, allows optimizing the number of operators that the production plant needs. Through multiple simulations of different scenarios, confidence intervals of the operation in steady state are built that allow determining a set of indicators that allow its owner to determine the effectiveness and convenience of incorporating a cobot into its production line. The analysis of multiple scenarios allows selecting the best combination of operators and cobots that together produce the best productivity and efficiency results.

**Keywords:** Industrial Engineering, Production, Simulation, Cobots, Anylogic.

## **Incorporação de cobots em linhas de produção de queijo mussarela**

### **RESUMO**

Numa empresa PME dedicada à produção de produtos lácteos, analisa-se a viabilidade de incorporar cobots na linha de produção de cilindros e barras de queijo mussarela. Na situação atual, dois funcionários são encarregados de preencher o processo final da linha de produção através de um processo manual suscetível a erros por distração e/ou cansaço durante um turno diário de 12 horas de trabalho contínuo. Através de um programa de simulação, analisa-se a conveniência de incorporar cobots na tarefa de embalar cilindros de mussarela, sendo o cobot responsável por encher e fechar os cilindros, que um operador se encarrega de levar para câmaras frigoríficas para preparar o produto para Despacho. Com detalhamento dos tempos de trabalho manual dos operadores e automático do cobot, analisa-se a produtividade e a eficiência no número de produtos acabados. O modelo de simulação, além de analisar toda a linha de produção, permite otimizar o número de operadores que a planta necessita. Através de múltiplas simulações de diferentes cenários, são construídos intervalos de confiança da operação em estado estacionário que permitem determinar um conjunto de indicadores que permitem ao seu proprietário determinar a eficácia e conveniência de incorporar um cobot em sua linha de produção. A análise de múltiplos cenários permite selecionar a melhor combinação de operadores de produção e cobots que juntos produzem os melhores resultados de produtividade e eficiência.

**Palavras chave:** Engenharia Industrial, Produção, Simulação, Cobots, Anylogic.

## 1. INTRODUCCIÓN

¿Qué es el queso mozzarella? Según el Código Alimentario Argentino y el Anexo MERCOSUR (ANMAT 2020) “se entiende por queso al producto fresco o madurado que se obtiene por la separación parcial del suero de la leche o de la leche reconstituida (entera, parcial o totalmente descremada) coagulado por la acción física del cuajo, de enzimas específicas, coagulación de la leche por medio de cuajo y/u otras enzimas coagulantes apropiadas), complementada o no por la acción de bacterias lácticas específicas”.

El queso mozzarella pertenece a los quesos de pasta hilada, cuya masa es estirada manual o mecánicamente utilizando un medio caliente (agua o vapor) con el propósito de obtener un producto elástico y extensible. Los inmigrantes italianos en Argentina introdujeron la metodología de “hilar” la masa en forma manual, siendo reemplazada gradualmente por mezcladoras o hiladoras automáticas. El hilado en caliente permite que este queso adopte una gran diversidad de formas y tamaños para ser envasado.

Antiguamente era elaborada única y exclusivamente a partir de leche de búfala. Hoy, por su amplia utilización culinaria es elaborada en grandes cantidades con leche de vaca, sobre todo en EEUU donde es llamada “Pizza Cheese”. Se puede elaborar en diversos tamaños y formas, con un rendimiento normal que varía entre 9,50 a 10,50 litros de leche / kg de queso mozzarella envasado y debe ser controlado, pues un rendimiento más elevado puede afectar la factibilidad y disminuir la durabilidad del producto. (Mansur Furtado y col., 1994). Un proceso típico de producción industrial de queso mozzarella hilada puede visualizarse en la figura 1. Detalles del proceso de producción de mozzarella tipo hilada, puede encontrarse en el trabajo de Maldonado y otros (2011).

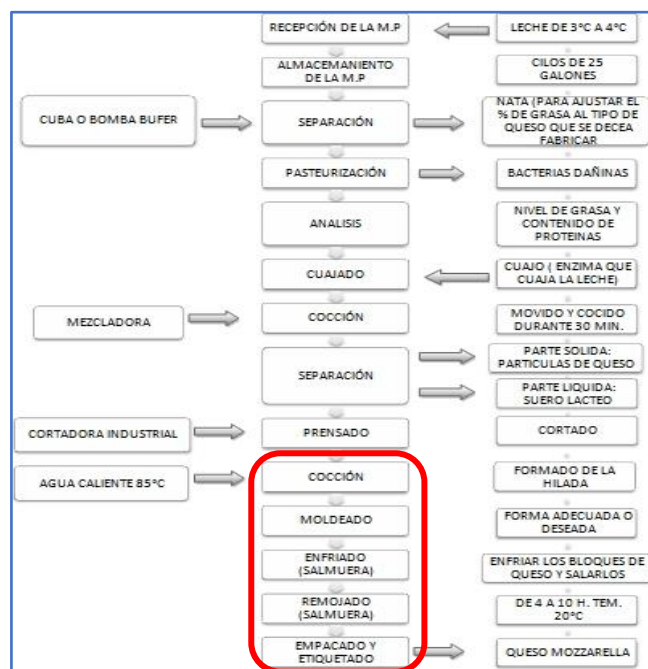


Figura 1. Producción Industrial Típica de Queso Mozzarella

¿Qué son los cobots? Por definición los cobots o robots colaborativos son brazos mecánicos de pequeñas dimensiones que permiten automatizar procesos industriales en entornos de trabajo compartidos con los humanos. Los cobots disponen de elementos de seguridad que garantizan la integridad de los operarios cuando entran en contacto sin producir ningún riesgo para los trabajadores. Allí reside su gran fortaleza, ya que son el complemento perfecto para poder desarrollar trabajos específicos, repetitivos sin que los operarios tengan que correr ningún tipo de riesgo. No obstante, sus virtudes no acaban allí,

sino que básicamente son el punto de partida de lo que llamamos industria 4.0. Hoy en día los cobots se están convirtiendo en una herramienta clave para las empresas al proporcionarles nuevos métodos de producción ante los desafíos de sus procesos.

## 2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El caso de estudio de este trabajo se realiza sobre una Pyme que produce derivados de la leche. Principalmente elabora quesos, dulce de leche y eventualmente ricota. Con el fin de ampliar la cartera de productos y clientes, la empresa lanzó recientemente la producción de mozzarella envasada en dos versiones, rectangular en forma de barras de 20 kg totales (cada rectángulo incluye 4 barras de 5 kg cada una) y cilindros de 4 kg. El proceso de producción se realiza de forma mancomunada entre máquinas y operarios.

Como parte de su plan de expansión, la empresa compra “masa madre” a diferentes proveedores, la estabiliza en cámaras de frío durante 15 días aproximadamente y luego decide procesarla para producir mozzarella, para lo cual ha decidido incorporar una máquina automática de amasado con temperatura e hilado de masa, una maquina envasadora para cilindros, moldes para envasado de rectángulos y una bacha de frío para estabilizar el queso mozzarella recién envasado.

La masa madre se retira de la cámara de frío, se corta y pesa en lotes de aproximadamente 400 kg, y llega como materia prima al inicio de la línea de producción de mozzarella en la cual trabajan un operario principal (OP) y un operario ayudante (OA) (recuadro rojo de figura 1). La masa madre es llevada a la amasadora e hiladora que se encargará de producir la mozzarella con las mezclas de sal y aditivos que agregan los operarios (figura 2). Los aditivos se agregan solo para las barras y varían en función de requerimientos de clientes para obtener mozzarellas saborizadas.

En la producción de cilindros, finalizado el proceso de amasado e hilado, la masa se envía a la tolva dosificadora de la maquina envasadora que posee dos tubos cilíndricos verticales que se llenan con la cantidad deseada en base a la capacidad de cilindros (habitualmente de 4 kg). El proceso implica que mientras un tubo se va llenando con nueva masa, el otro se va vaciando en los envases cilíndricos y retirado para el cierre del envase. El operario principal es el que se encarga de llenar los envases cilíndricos mientras que el operario ayudante se encarga de cerrar los envases con un precinto metálico. Luego el operario ayudante pone el cilindro en una bacha con agua para su enfriamiento.

Para la fabricación de rectángulos, los 400 kg de masa amasada rinden 440 kg de producto (por los aditivos que se agregan) que se reparten en 22 latas de 20 kg cada uno. Para realizar este proceso se requiere solamente de la intervención del operario ayudante que se encarga de extraer 4 bollos de aproximadamente 5 kg cada uno y acomodarlo en las latas (moldes) interiores que adoptan la forma de barras. Luego que termina con las 22 latas del lote, el operario ayudante se encarga de rotar las barras a fin de que se enfríe la mozzarella y que no se apelmace (compacte) la que estaba en la parte inferior del molde y se produzca un exudado de suero residual. Finalmente pone las barras en agua fría junto a los cilindros y pasado un tiempo que varía entre 9 y 12 minutos son retirados y enviados a la cámara de frío para almacenaje, estacionamiento y despacho.

En este proceso de elaboración el propietario de la Pyme informa que los inconvenientes surgen en el proceso de armado de cilindros de mozzarella. A continuación, se detallan los principales inconvenientes relevados:

- **Velocidad de llenado de envases:** supeditado a la velocidad con la que el operario principal toma un nuevo envase y lo posiciona en el lugar correcto para que comience la descarga de la masa que está en dosificador.
- **Precisión en la sujeción del envase:** si bien no es un problema habitual, suelen descartarse productos al desplazarse el envase de la boca de salida del cilindro de la tolva produciendo la pérdida de masa al caerse al suelo.
- **Velocidad de cierre de envases:** tiene mucha variabilidad desde que comienza el turno hasta que se termina, si bien es una tarea repetitiva, a medida que pasan las horas el operario ayudante reduce significativamente la velocidad con la que realiza el cierre de envases y esto provoca una cola de espera aguas arriba.
- **Costo de Mano de Obra:** se paga un costo alto para una operación sencilla y repetitiva, que demanda subocupación de los operarios.

Los inconvenientes planteados proponen la búsqueda de soluciones alternativas que permitan aumentar la cantidad de productos terminados, disminuir los tiempos de operación de cada lote y reducir los costos fijos a fin de tener precios más competitivos. El objeto bajo estudio comprende el proceso desde que ingresa la materia prima a la línea de producción de mozzarella (masa madre) hasta que el producto terminado (rectángulos y cilindros) se depositan en las cámaras de frío (recuadro rojo de figura 1). El período laboral comprende los días martes, jueves y sábado en horario de 04:00 a 17:00 horas, no obstante, si en el horario de finalización aún hay tareas pendientes de producción, estas deben terminarse y recién allí finaliza el turno. Aproximadamente el 25% de los lotes de “masa madre” se utiliza para producir rectángulos de mozzarella mientras que el 75% de los lotes, se utiliza para producir cilindros de mozzarella.

Se realizará el estudio de la mejora de procesos, pero se deja sin modelar la estructura de costos ya que no está muy clara al momento de realizar el relevamiento. Se plantea como alternativa la incorporación de un cobot (robot colaborativo) únicamente para la tarea de envasado y cierre de cilindros de mozzarella, liberando a los operarios responsables de esta tarea y que produce la mayoría de los errores causales producto de la tarea repetitiva y muchas horas de trabajo con la consecuente pérdida de productividad. El diagrama de flujo detallado del sector bajo estudio se muestra en la figura 2, donde también se detallan los recursos necesarios (operario principal, operario ayudante y equipos).

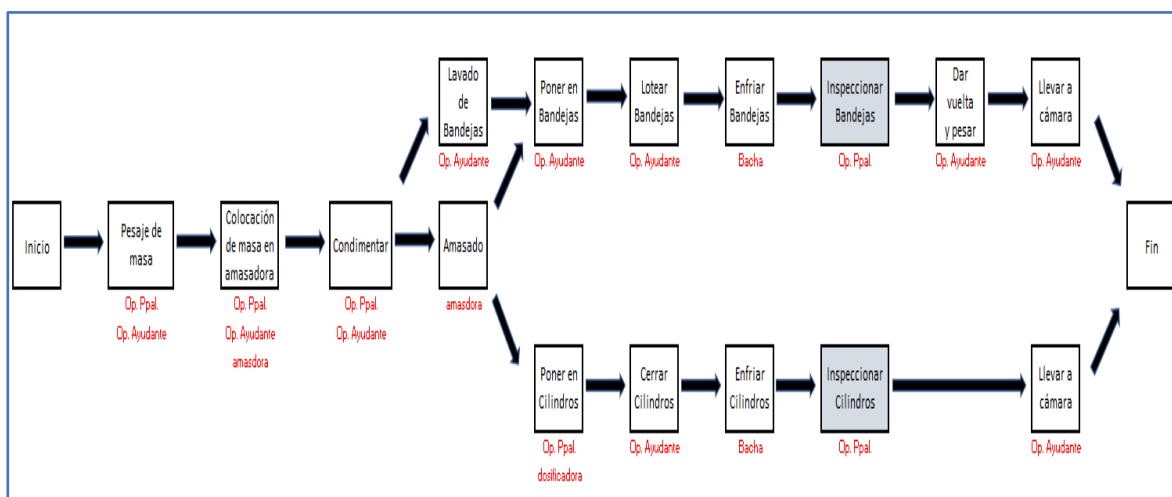


Figura 2. Diagrama del proceso a simular

Para analizar distintos escenarios de producción con o sin la utilización de cobots y distintas ocupaciones del personal asociado al proceso, se decide utilizar una herramienta de simulación,

Anylogic, un simulador multiparadigma que nos permitirá explorar distintas combinaciones y poder elegir la mejor alternativa.

### 3. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO

Del relevamiento y análisis de datos y el diagrama de flujo de la figura 2, detectamos variables de diferente tipo a incluir en el modelo de simulación. A saber:

#### Variables de decisión

- Cantidad de operarios principales
- Cantidad de operarios ayudantes
- Utilización o no de cobots

#### Variables de referencia

- Tiempo promedio que demora la línea de producción de mozzarella en procesar un lote
- Nivel de ocupación/ociosidad de recursos
- Cantidad de rectángulos y barras producidos
- Cantidad de cilindros producidos
- Cantidad de rectángulos rechazados
- Cantidad de cilindros rechazados
- Tiempo promedio de elaboración en puntos intermedios

#### Variables de estado

- Cantidad de masa en la amasadora.
- Cantidad de masa en envasadora de cilindros.
- Cantidad de masa siendo cortada en rectángulos o barras
- Cantidad de masa enfriándose
- Disponibilidad de recursos
- Horario laboral

El modelo de simulación discreta se construyó sobre software Anylogic reflejando la lógica del proceso y teniendo en cuenta los diferentes tipos de variables mencionadas y las posibilidades de experimentación con el mismo. En la figura 3 se muestra el modelo completo.

Para la construcción del modelo se tuvo en cuenta distintas variables en su mayoría con comportamientos aleatorios descritos por distribuciones de probabilidad resultantes de un proceso de muestreo de tiempos. La tabla 1, resume las variables del modelo de simulación.

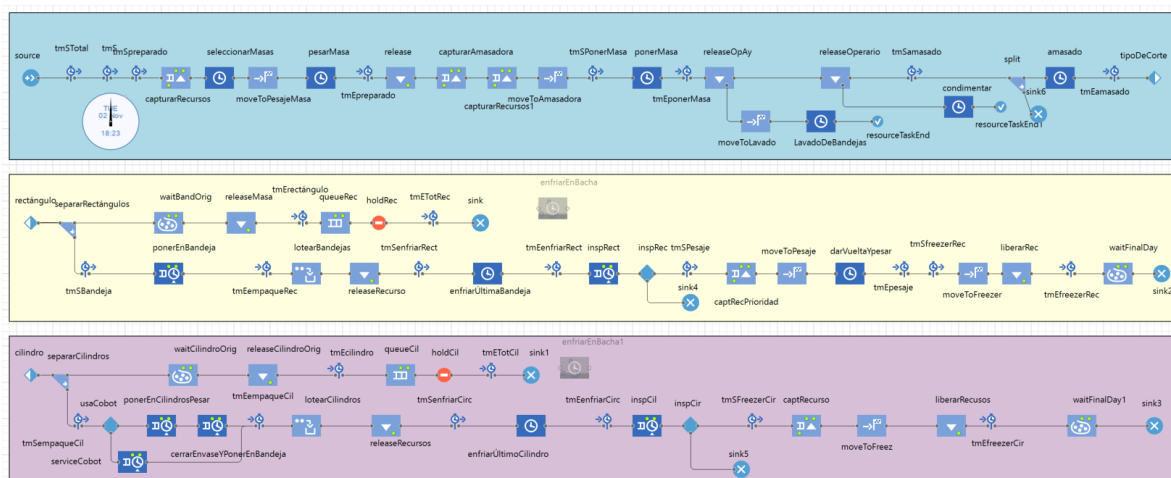


Figura 3. Modelo de simulación en Anylogic

Tabla 1. Definición de variables en el modelo

Nombre	Descripción	Valor
PorcentajeArectángulo	Cantidad de masa a rectángulo	0.25
DemandaDeMasa	Demanda de clientes	12 (12*400 = 4800kg/día)
ParamOpAy	Operario ayudante	1
ParamOpPpal	Operario principal	1
paramCobot	Cobot	0
DíaLaboral		Martes, jueves y sábados
HorarioLaboral	Horario de trabajo de los recursos	4 a 17hs
HorarioDesayuno		6:30 a 6:45hs
HorarioAlmuerzo		12:00 a 13:00hs
HorarioMerienda		15:30 a 15:45hs
cantRectángulosPorMasa	Cada molde contiene 4 barras de 5 kg cada una	22
cantCilindrosPorMasa	Cada cilindro contiene 4 kg	100
cantRectProducidos	Rectángulos de 20 kg producidos	0
cantCilProducidos	Cilindros producidos	0
cantRectRechazados	Rectángulos rechazados	0
cantCilRechazados	Cilindros rechazados	0
moveToPreparado	Llevar masa a preparación	triangular(1,2,3) min
seleccionarMasas	Seleccionar masas de distintos proveedores	triangular(4,5,7) min
pesarMasa	Tiempo de preparación	triangular(0.5,1,3) min
ponerMasa	Tiempo en colocar la masa	triangular(3,5,7) min
moveToAmasadora	Llevar masa a amasadora	triangular(1,2,3) min
ponerMasa	Poner masa en amasadora	triangular(1,2,4) min
moveToLavado	Tiempo en llevar bandejas a bacha	triangular(1,3,5) min
lavadoDeBandejas	Lavado de bandejas para depositar rectángulos de mozzarella	triangular(2,5,12) min
Amasado	Amasado de 400 kg de mozzarella	triangular(47,50,60) min
Condimentar	Condimentar la masa mientras se realiza el amasado	triangular(1.5,3,5) min
ponerEnBandeja	Poner 4 bollos de 5.5kg en las bandejas hasta armar el rectángulo	Uniform(0.7, 1.2) seg
enfriarBandejas	Enfriar lote total de bandejas	triangular(9,10,12) min
inspeRect	Inspección de rectángulos	Uniform(1,3) min
moveToPesaje	Llevar rectángulo a pesaje	triangular(1,2,3) min
darVueltaYpesar	Dar vuelta las bandejas y pesar	Uniform(13,18) min
MoveToFreezer	Llevar los rectángulos al freezer	triangular(5,7,10) min
ponerEnCilindroyPesar	Vaciar cilindros en envases	Uniform(4.5, 6.5) seg
cerrarEnvaseYponerEnBacha	Cerrar el envase y poner en bacha	Uniform(5, 8) seg
serviceCobot	Pone en cilindros, cierra y manda a bacha de enfriamiento. No necesita pesar por precisión del cobot	8 seg
enfriarCilindros		triangular(9,10,12) min
inspCil	Inspeccionar cilindros	Uniform(1,3) min
inspCir	Probabilidad de no rechazo	Bernoulli(0.99)
moveToFreez	Mover al freezer los cilindros	triangular(5,7,10) min
Source	Aparición de la materia prima en el proceso	Dinámico, depende de que no haya masa en la amasadora y que el horario sea menor a las 16:20hs. Una vez que se libera la amasadora se procede a buscar una nueva materia prima

#### 4. VERIFICACIÓN Y VALIDACIÓN DEL MODELO

La verificación del modelo se realizó comprobando que cada uno de los comportamientos tuviera su coherencia con el proceso y que los resultados estuvieran dentro de los rangos aceptables de validez ante la prueba de estrés que consistió en la variación de parámetros dentro de sus umbrales mínimos y máximos posibles. La validación del modelo se realizó corriendo 1 simulación con 10 réplicas con distinta semilla aleatoria y comparando los intervalos de confianza (95%) de la simulación contra la media de los valores reales recolectados durante los tres últimos meses anteriores a la ejecución del modelo, resumidos en tabla 3.

La comparación de la operación de producción simulada versus la real se realizó midiendo indicadores claves de control (KPIs) definidos por el propietario del establecimiento. Los KPIs de control son:

- Tiempo total promedio de proceso de fabricación de rectángulos de mozzarella (TT\_Prod\_Rec) medido en minutos e incluye desde que ingresa la materia prima para elaboración hasta que se lleva a la cámara de frío.
- Tiempo total promedio de proceso de fabricación de cilindros de mozzarella (TT\_Prod\_Cil) medido en minutos e incluye desde que ingresa la materia prima para elaboración hasta que se lleva a la cámara de frío.
- Cantidad promedio de rectángulos de mozzarella producidos (Tot\_Rec\_Prod) durante el tiempo de simulación.
- Cantidad promedio de cilindros de mozzarella producidos (Tot\_Cil\_Prod) durante el tiempo de simulación.

Inicialmente, la simulación mostraba valores que estaban en promedio un 10% por encima de los valores reales muestreados del proceso durante 1 trimestre y por ello se realizaron mejoras al modelo (caso base o situación actual) basadas en técnicas estadísticas de pruebas de hipótesis e intervalos de confianza con replicas para lograr que el modelo ajustara por debajo de 10% de variación respecto a los valores muestreados. Consideramos este porcentaje aceptable para continuar con la experimentación.

#### 5. PLAN DE EXPERIMENTACIÓN

A fin de evaluar alternativas se ha propuesto y consensuado el siguiente plan de experimentación con el modelo de simulación que se resume en la tabla 2, donde las columnas significan: OA, Operario Ayudante, OP, Operario Principal, CB, Cobot, AM, Amasadora, EN, Envasadora, BF, Bacha de Frío. Como valores de comparación se usarán los 4 KPIs comentados en párrafos anteriores.

Tabla 2. Plan de experimentación con el modelo

	OA	OP	CB	AM	EN	BF
Situación Actual	1	1	0	1	1	1
Alternativa 1	2	1	0	1	1	1
Alternativa 2	1	2	0	1	1	1
Alternativa 3	2	2	0	1	1	1
Alternativa 4	1	1	1	1	1	1
Alternativa 5	2	1	1	1	1	1
Alternativa 6	1	2	1	1	1	1
Alternativa 7	2	2	1	1	1	1

#### 6. EXPERIMENTACIÓN CON EL MODELO

Para experimentar con el modelo usamos la versión "light" de Anylogic, conocida como Personal Learning Edition (PLE) con la cual pueden correrse modelos dentro de limitación en la cantidad de



objetos creados y la cantidad de réplicas que pueden ejecutarse. Cada uno de los escenarios de la tabla 2, se realizaron con un límite de 1397 réplicas cada uno, resultante de aplicar una fórmula para determinar el tamaño de muestra con el objetivo de determinar intervalos de confianza de 95% de las variables principales (KPIs). Como técnica de muestreo para variables aleatorias se considera la simulación Montecarlo con valores de semilla de generación de números aleatorios cambiante entre cada corrida o réplica reflejando de esta manera la aleatoriedad del proceso.

## 7. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE EXPERIMENTACIÓN

Los valores de tiempos promedio y cantidades totales de la recolección de datos sobre el sistema actual en el último trimestre previo a la comparación se resumen en la tabla 3. El tiempo de simulación se tomó igual a la cantidad de días del proceso de muestreo realizado, aproximadamente 100 días, un poco más de un trimestre.

Tabla 3. Valores muestreados de la producción real

Resultados Relevados del último trimestre	Valores Promedio
TT_Prod_Rec (minutos promedio por lote)	140.80
TT_Prod_Cil (minutos promedio por lote)	162.21
Tot_Rec_Prod (unidades totales x 20 kg)	2073
Tot_Cil_Prod (unidades totales x 5 kg)	28300

Teniendo en cuenta los datos de producción de los últimos 3 meses validado en la simulación de la situación actual, se realizó el experimento de los diferentes escenarios mencionados en la tabla 2.

La figura 4 resume la comparación del indicador TT\_Prod\_Rec entre los distintos escenarios y se observa que los escenarios 3 y 7 son los que mejor reducen el tiempo de producción. El escenario 7 se compone de 2 operadores de cada tipo y 1 cobot. En cada grafico siguiente se muestra el valor de la media (Med) (color azul), límite superior (LS) del intervalo de confianza de 95% alrededor de la media (color naranja) y límite inferior (LI) del intervalo de confianza alrededor de la media (color gris).

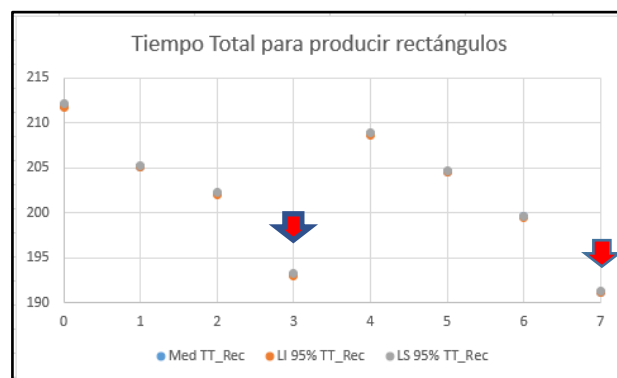


Figura 4. Resultados de indicador TT\_Prod\_Rec

La figura 5, resume los valores simulados para el indicador TT\_Prod\_Cil y se observa que nuevamente los escenarios 3 y 7 son los que reducen en mayor medida los tiempos de fabricación de cilindros.

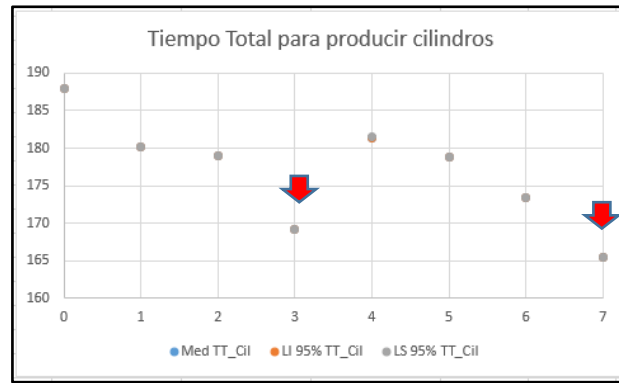


Figura 5. Resultados del indicador TT\_Prod\_Cil

La figura 6 resume los valores simulados de la producción total de rectángulos o barras de mozzarella, indicador Tot\_Rec\_Prod, en la cual podemos observar que en todos los escenarios alternativos se consigue una mejora en la cantidad total producida destacándose los escenarios 1, 5, 6 y 7. Entre ellos no se puede definir con certeza cuál es el mejor debido a la superposición de los intervalos de confianza.

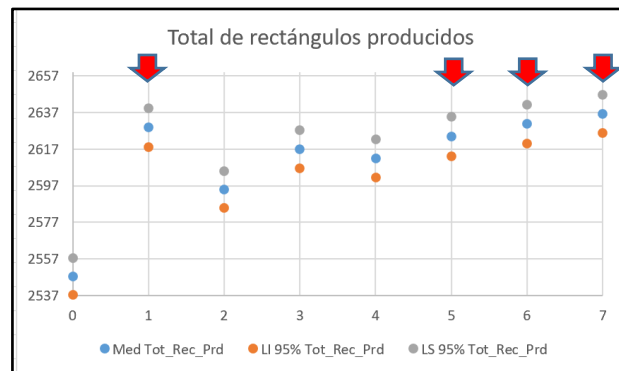


Figura 6. Resultados del indicador Tot\_Prod\_Rec

Finalmente, en la figura 7, se resumen los valores simulados del indicador de cantidad de cilindros de mozzarella Tot\_Cil\_Prod donde observamos nuevamente que los escenarios 1, 4, 5, 6 y 7 representan mejores alternativas para aumentar la productividad de cilindros de mozzarella. Entre ellos no se puede definir con certeza cuál es el mejor debido a la superposición de los intervalos de confianza.

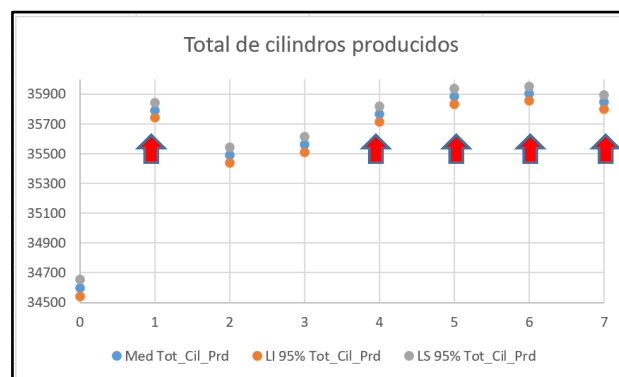


Figura 7. Resultados del Indicador Tot\_Prod\_Cil

La figura 8, resume la utilización porcentual de la amasadora de mozzarella, principal equipo para generar los lotes de producción envasada. El escenario 6 con ayuda de 1 cobot y 2 operarios principales y 1 operario ayudante aumenta cerca de 10% la utilización de la amasadora. Por tratarse de una única maquina se busca que el tiempo ocioso resulte mínimo. Con ayuda del cobot se consigue este resultado.

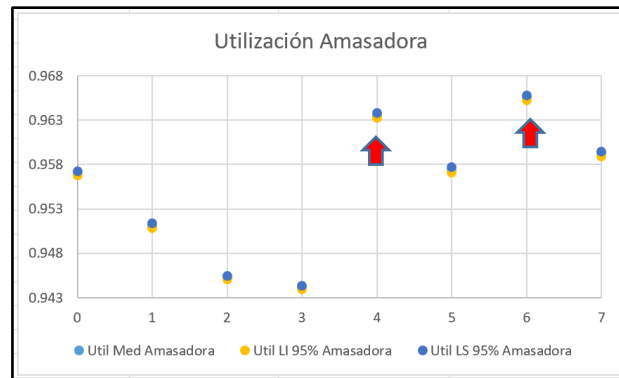


Figura 8. Utilización porcentual de amasadora

La figura 9 resume la utilización de la tolva y maquina envasadora de cilindros de mozzarella donde se observa que los escenarios 4 a 7 donde se incluye el cobot resultan los más adecuados.

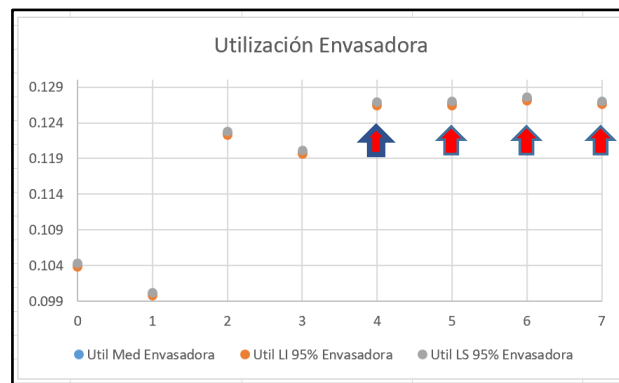


Figura 9. Utilización porcentual de envasadora

La figura 10 resume la ocupación porcentual del operario ayudante (1 o 2) donde observamos que para los escenarios sin utilización de cobots (0 a 3), la ocupación cuando se utiliza 1 solo operario ayudante está por encima del 74%, casi sobrecargado si pensamos en jornadas de 12 horas de trabajo, con 74% o más de su tiempo ocupado. La ocupación disminuye cuando se agrega un segundo operario ayudante en escenarios 1 y 3 al igual que cuando se agrega el cobot en escenarios 4 a 7.

La figura 11 resume la carga porcentual del operario principal, donde podemos observar que la mayor carga de trabajo se produce cuando existe 1 solo operario sin ayuda de cobot, donde su utilización porcentual está cercana al 60%, escenarios 0 y 1. Para el resto de los escenarios la ocupación de los empleados disminuye por lo que consideramos mejor la alternativa 0 (situación actual) que provee una mayor carga en términos de ocupación de empleados.

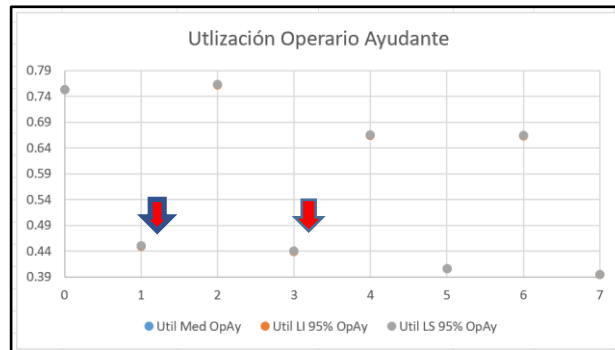


Figura 10. Carga porcentual de trabajo Operario Ayudante

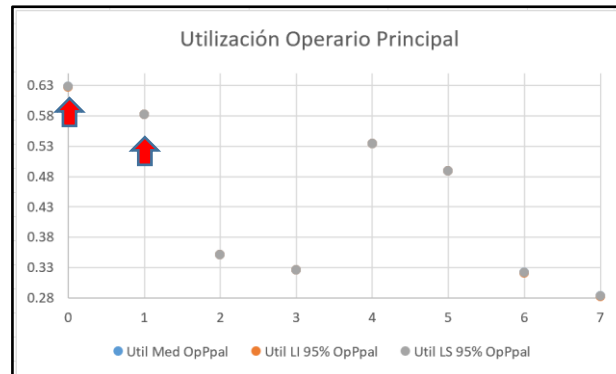


Figura 11. Utilización porcentual del operario ppal.

Finalmente, la figura 12 resume la utilización del cobot en la producción de cilindros de mozzarella donde se observa una baja ocupación al igual que la maquina envasadora de figura 9. Esto se debe a que el cuello de botella detectado está en la utilización de la amasadora Tal vez una segunda amasadora permitiría un aumento de productividad razonable.

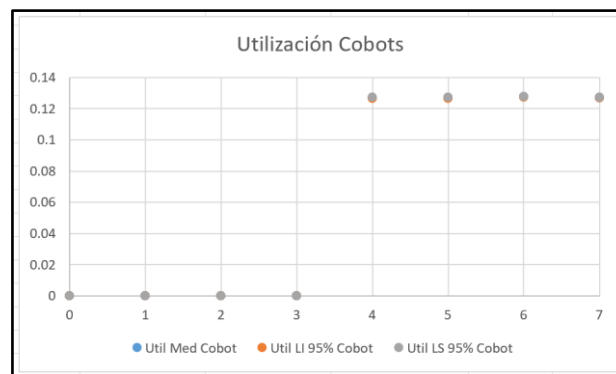


Figura 12. Utilización porcentual del cobot

Obviamente hemos analizado muchos más escenarios, pero mostramos los indicadores más relevantes a criterio del propietario del establecimiento para comparar como mejorar su sistema de producción. Mayor información puede obtenerse escribiendo a los autores.

## 8. CONCLUSIONES

Luego de un extenso análisis de alternativas de mejoras al sistema productivo podemos concluir que la mejor opción resulta ser el escenario 6 consistente de 1 operario ayudante (OA), 2 operarios principales (OP) y un brazo robótico para envasado de cilindros de mozzarella (Cobot). En la tabla 4 resumimos todos los escenarios analizados (8) y en color verde resaltamos la mejor combinación para aumentar la productividad de cantidad de productos finales.

Tabla 4. Resumen de alternativas de mejoras

	OA	OP	CB	AM	EN	BF
Situación Actual	1	1	0	1	1	1
Alternativa 1	2	1	0	1	1	1
Alternativa 2	1	2	0	1	1	1
Alternativa 3	2	2	0	1	1	1
Alternativa 4	1	1	1	1	1	1
Alternativa 5	2	1	1	1	1	1
Alternativa 6	1	2	1	1	1	1
Alternativa 7	2	2	1	1	1	1

Puede resultar de la lectura que es un modelo simple, la producción de productos de mozzarella, pero la construcción, validación y experimentación de un modelo de simulación que combina sus partes probabilística (Montecarlo) y su parte discreta (modelos de procesos) con análisis estadísticos resulta posible en pocos simuladores, uno de ellos es Anylogic versión PLE que puede usarse en universidades para capacitación de estudiantes y poder analizar vía modelado las posibilidades que esta herramienta tiene para analizar mejoras a procesos existentes.

El propietario del establecimiento quedo satisfecho con el análisis que pudimos ofrecerle, pero como aclaramos al principio, no está considerada la opción de costos de adquisición, instalación y puesta en marcha del cobot ni tampoco sus costos de operación y mantenimiento para la razón que no estaban definidos al momento de realizar nuestro modelo.

## 9. REFERENCIAS

Addeo, F. "La Mozzarella un Queso Tradicional en Evolución". Anales Congreso Internacional de Tecnología en Producción de Quesos (FEPALE) Bs. As. 1996, Pág. 251 / 271.

ANMAT. "Código Alimentario Argentino". Capitulo VIII, actualización 2020. Página web: <https://www.argentina.gob.ar/anmat/codigoalimentario>

Anylogic, web, <https://www.anylogic.com/>

Emaldi, G.. 1977. "Quesos de pasta hilada". Actas del Seminario Internacional de Ciencia y Tecnología del Queso. Paraná. Entre Ríos

Maldonado Gómez, Ronald J et al. "Esquema tecnológico general y caracterización del queso hilado tipo telita". Agronomía Trop., Dic 2011, vol.61, no.3-4, p.177-188. ISSN 0002-192X

Mansur Furtado, M. (1997), "Mussarella: uma abordagem pratico- teorica". Leite & derivados N ° 33 pp 42-49.

Mansur Furtado, M. 1994. "Tecnología de Queijos". Sao Paulo. Dipemar.