PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE

ESCUELA DE INGENIERÍA

UNA HEURÍSTICA ROBUSTA PARA LA PLANIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN:

DESARROLLO Y APLICACIÓN A UN CASO REAL

FRANZ JOAQUÍN CARRILLO HIGUERAS

Tesis para optar al grado de Magíster en Ciencias de la Ingeniería

Profesor Supervisor:

Sergio Maturana V.

Santiago de Chile, junio 2008

© 2008, Franz Carrillo Higueras

A mis Padres, que siempre me han apoyado y animado a seguir adelante.

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco profundamente a mi profesor supervisor Sergio Maturana, por su siempre excelente disposición para conversar acerca de las diversas problemáticas a las cuales me vi enfrentado. Le agradezco su tono amistoso y paciencia para responder mis consultas.

A los profesores de mi comisión de tesis, que tan gentilmente aceptaron formar parte de esta tesis, un afectuoso agradecimiento.

Finalmente, un reconocimiento a mis padres por sus sacrificios a lo largo de la vida y por todo el apoyo que me han entregado desde siempre.

RESUMEN

Dentro de los sistemas productivos existen muchos eventos inesperados que hacen interrumpir y atrasar el normal secuenciamiento de órdenes dentro de las líneas de producción. Estas incertidumbres pueden deberse a errores humanos, fallas en las maquinarias, cortes energéticos, productos defectuosos, tiempos de setup indeterminados, etc. Esto lleva consigo la necesidad de modificar la planificación original, que puede haber sido objeto de optimizaciones, para dar paso a la reprogramación. Este proceso introduce varias ineficiencias dentro del sistema, lo cual termina en una incapacidad de conocer a priori la fecha real en que los pedidos estarán listos y muchas veces a no alcanzar a producir dentro de los plazos. Por esta razón, el objetivo principal de este estudio es encontrar la manera de maximizar el número de órdenes satisfechas (realizadas dentro de los plazos asignados), minimizando la necesidad de reprogramación, mediante una heurística que incorpore robustez y flexibilidad en la planificación de órdenes.

De esta forma, la idea general es introducir tiempos muertos dentro de la planificación original con el objeto de tener holguras que puedan absorber los eventos inesperados.

Esta estrategia será presentada y luego probada en un caso de estudio correspondiente a una empresa chilena productora de vinos.

Palabras Claves: Incertidumbre, Planificación, Heurísticas, Gestión de Operaciones, Producción, Reprogramación, Vinos.

ABSTRACT

Many uncertains events are present inside the productive systems. These events interrupt and delay the orders sequencing inside the production lines, and can be produced by humans mistakes, machine breakdowns, power cuts, defectives items, uncertains setups times, etc. Due to the uncertains events are always present, we have the necessity of modify the original scheduling after we finish it, even thinking this scheduling is already optimized, process called rescheduling. This process introduces a lot of inefficiencies inside the system, being a problem to the managers because they don't have the capacity to establish the real date when the products are going to be finished and ready to be shipped.

Due to, the main objective of this study is to find the way to have the highest number of on-time jobs, minimizing the rescheduling necessity. This is going to be obtained through a robust and flexible heuristic in the order scheduling.

The general idea is to introduce idle times inside the original scheduling in order to have slacks absorbing the uncertains times.

This strategy will be showed and next probed in a study case relating to a Chilean export-oriented wine producer.

Keywords: Uncertain, Scheduling, Heuristics, Operational Research, Production, Rescheduling, Wines

1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día, gracias a la globalización de los mercados y a las tecnologías de la información, el consumidor de productos alrededor de todo el mundo puede seleccionar y cambiar de proveedor con relativa facilidad. Por ello, dado que en general, el nivel de diferenciación de productos entre compañías competidoras va disminuyendo cada vez más, las empresas actuales están tratando de desmarcarse de sus rivales aumentando su preocupación por otorgar una experiencia de servicio de alta calidad a sus clientes.

En la industria productiva en general, existen variadas formas de ineficiencias que contribuyen a entorpecer la calidad de servicio entregada y la visión estratégica, la cual permite dictar directrices y facilitar la adaptabilidad de la empresa en los tiempos actuales.

Por lo mismo, ser puntual en la producción y eficiente en términos de costos se ha convertido en una necesidad imperativa en los mercados actuales. Por esta razón, la planificación de la producción es particularmente importante y efectiva como herramienta para tratar con este tipo de necesidades.

Dentro de una planta de producción, el orden en que los pedidos son atendidos es dado por una planificación hecha a priori, generalmente confeccionada por una unidad especializada dentro de la empresa. Esta planificación describe con cierto nivel de detalle cuáles pedidos serán atendidos, en qué orden, con qué duración, con qué insumos y por cuáles maquinarias serán ejecutados (Van Laarhoven, Aarts y Lenstra, 1992). Generalmente, la planificación es desarrollada para un cierto período de tiempo basada en las características presentes de los sistemas y entregada posteriormente a las líneas de producción para hacerse efectiva.

Por razones que son intrínsecas a la estructura que compone a la planta (recursos humanos, maquinarias, elementos externos como proveedores y clientes, etc.), constantemente se genera un ruido o incertidumbre al interior de los procesos. Esta incertidumbre se manifiesta generalmente de forma negativa sobre uno de los recursos más preciados dentro de la empresa: el tiempo. De esta forma, vemos que el proceso productivo está afecto siempre a atrasos, caídas de máquinas, problemas con insumos, problemas con recursos humanos, etc., que entorpecen y dificultan el cumplimiento de plazos acordados con el cliente.

En la mayoría de los casos, la incertidumbre que rodea los procesos impide aplicar directamente la planificación generada, debiendo acudirse a otro tipo de directrices. Estas directrices son llamadas reprogramación (rescheduling), la cual consiste lisa y llanamente en cambiar el orden de producción según criterios que no siempre están definidos (Mehta y Uzsoy, 1998). Muchas veces la reprogramación es realizada por personas que no tienen acceso a una visión amplia de la empresa ni al plan

estratégico que regula la producción. Esto conlleva a hacer uso de los recursos en una forma que muchas veces es muy deficiente en términos de optimalidad, consumiendo recursos de una forma desordenada. De esta forma, planificaciones que son hechas mediante un gran esfuerzo, apuntando a la eficiencia en el consumo de los recursos, quedan obsoletas al poco tiempo de haber sido entregadas a los operarios de las líneas de producción.

Dado que es conocida la existencia de un sinnúmero de factores intrínsecos por lo cual una planificación no será cumplida en una planta de producción que posee una alta complejidad, el alumno propondrá en este estudio una heurística flexible y robusta que permita realizar una planificación que sea persistente en el tiempo. De esta forma, lo que se quiere proponer debe ser resistente a la incertidumbre y no verse afectado por los problemas de rutina que se encuentran presentes en la línea de producción.

Es de interés, entonces, desarrollar una planificación robusta que pueda absorber interrupciones sin afectar el correcto desempeño de la planta.

Dentro de los posibles acercamientos a metodologías de trabajo, existen las llamadas heurísticas. Así definieron Bartholdi y Platzman (en 1988) lo que es heurística para ellos:

"Una heurística puede verse como un procesador de información que, deliberadamente, pero juiciosamente, ignora cierta información. Ignorando información, una heurística se libra de gran parte del esfuerzo que debió haberse requerido para leer los datos y hacer cálculos con ellos. Por otra parte, la solución producida por tal heurística, es independiente de la información ignorada, y de este modo no se ve afectada por cambios en tal información. Idealmente, se busca ignorar información que resulta muy caro colectar y mantener, esto es, computacionalmente caro de explotar y mantener, y que contribuye en poco a la precisión de la solución."

Por esta razón, en este estudio se propone la utilización de una estrategia mixta, donde por una parte se realiza una planificación normal basada en la aplicación de una heurística que considera priorizar las órdenes de fabricación según los tiempos de setup y de producción, sujeto a respetar los tiempos de vencimiento de las órdenes respectivas. Una vez conseguido tal ordenamiento, se procede a incorporar tiempos muertos (períodos de holgura) dentro de la planificación obtenida. De esta manera, se pretende absorber los impactos de las interrupciones antes señaladas.

La planificación así construida será consistente con las políticas de economía de las empresas, por lo que es de interés, al mismo tiempo, obtener resultados tangibles de los beneficios de la política nueva sobre la antigua. Entonces, dado que dentro del ámbito productivo existe un interés creciente por conocer y disminuir los tiempos reales de reacción frente al cliente, el objetivo de este estudio, entonces, pasa por encontrar la manera de maximizar el cumplimiento de fechas comprometidas con el cliente. En otras palabras, tratar de cumplir con una tasa mínima el *due date* del pedido, es decir, la "fecha crítica" de entrega al cliente. Esto sumado al hecho de que también se busca minimizar la necesidad de reprogramación, para efectos de aumentar la eficiencia en la producción.

La estrategia propuesta estará basada en el uso intensivo de los registros históricos de la empresa (descripción de órdenes de fabricación, de problemas originados, tiempos, etc.). Por esta razón, el alumno pretende incorporar una estrategia de planificación de órdenes dentro de las líneas de producción que puede ser introducido en cualquier empresa productiva que cuente con estos registros.

Para comprobar el cumplimiento de los objetivos de puntualidad en la entrega de órdenes y eficiencia en costos, se aplicará esta metodología en la empresa nacional "Concha y Toro", productora de vinos.

2. DISCUSIÓN BIBLIOGRÁFICA

El problema de la planificación en la industria manufacturera es reconocido como uno de difícil solución.

La vasta mayoría de los esfuerzos de investigación asumen completa información acerca del problema a ser resuelto y por lo mismo, la teoría se inserta en un ambiente determinístico donde se mueven todas las variables del sistema. Esto hace que la planificación de la producción construida "optimice" los tiempos en los que se incurre al producir, resultando en soluciones de tipo exacto a través de métodos como la programación matemática (Jozefowska y Zimniak, 2006; Van den broecke, et al., 2008). Sin embargo, en la vida real, todas las planificaciones están sujetas a eventos de carácter incierto, los cuales van quedando determinados a medida que los trabajos se van realizando, por lo cual, la validez de los sistemas estáticos determinísticos ha sido cuestionada y altamente criticada (Goldratt, 1997).

Dado que sabemos que estos eventos van a suceder, en este trabajo se optará por asumir que la incertidumbre está presente de manera inexorable, por lo que se estudiará la forma de "convivir" con ella. En general, podemos distinguir entre cuatro posibles enfoques para tratar con la incertidumbre en la planificación (Herroelen y Leus, 2004): Planificación Reactiva, Planificación Difusa, Análisis de Sensibilidades y Planificación Proactiva (robusta).

La Planificación Reactiva revisa y reoptimiza constantemente la planificación cuando ocurre un evento inesperado, concentrándose los esfuerzos en reparar la planificación (Sabuncuoglu and Bayiz, 2000; Szelke and Kerr, 1994; Vieira et al, 2000).

Cuando no existen registros históricos de los cuales extraer información acerca de los eventos inciertos, se debe confiar en la información de expertos humanos. La Planificación Difusa, entonces, es indicada para tratar la información imprecisa más que las incertidumbres (Hapke et al., 1994; Hapke y Slowinski, 1996; Ozdamar y Alanya, 2000).

El Análisis de Sensibilidades consiste en identificar y cuantificar los cambios ocurridos en las soluciones de una planificación, cambiando los parámetros internos del sistema (Hall and Posner, 2000). Es decir, con preguntas del tipo ¿qué tal si…?. Por ejemplo, tenemos: dados ciertos cambios en un parámetro, cuál es nuevo costo óptimo?, o el nuevo tiempo de producción?

Finalmente, tenemos la Planificación Proactiva o Robusta, la cual mantiene su estructura de orden aún cuando ocurran eventos inesperados. Existen dos aspectos que mencionar:

Planificación tolerante a fallas, tiene relación con mantener capacidad ociosa dentro de las maquinarias de una línea de producción, de manera de poder absorber estos eventos (Ghosh, 1996). Tiene el inconveniente de que esta redundancia puede ser prohibitiva en costos.

Protección temporal, se extiende la duración de las actividades, con el objeto de dejar holguras que puedan absorber las incertidumbres propias de la línea de producción (Gao, 1995). Hay autores que tratan acerca de insertar tiempo muerto adicional dentro de la planificación para absorber fallas de máquinas (Metha y Uzsoy, 1999).

El presente trabajo está enmarcado dentro de esta última línea de investigación, dado que se quiere construir una estrategia capaz de ser flexible y autónoma. Se utilizarán heurísticas, las cuales pueden ser eficientes frente a problemas no determinísticos.

Una heurística o algoritmo heurístico es un método eficiente con respecto al tiempo de cómputo y al espacio de memoria, y con cierta verosimilitud de obtener una solución más o menos satisfactoria, es decir, relativamente cercana a la óptima mediante el examen de sólo un pequeño subconjunto de soluciones del número total.

Según algunos autores (Miller y Schmidt, 1992) en los algoritmos heurísticos no se puede probar rigurosamente que siempre el algoritmo convergerá a un óptimo global. El punto de terminación de un procedimiento heurístico puede ser un óptimo global, pero no se puede garantizar más adelante en el tiempo.

Dentro de este esquema de trabajo, las heurísticas llamadas “priority rules” (PR) surgen como una manera sencilla y eficiente de efectuar planificaciones operacionales.

Por definición, las PR son una técnica por la cual se asigna un valor numérico a cada trabajo a ser planificado. Este valor se establece según ciertos parámetros predefinidos y el trabajo con el menor número asignado (o mayor, dependiendo del criterio utilizado) es el que se selecciona para ser procesado. La ventaja de las PR es que pueden ser también combinadas unas con otras fácilmente, con el objeto de conseguir una mayor eficacia (Kawai y Fujimoto, 2005). De esta forma, este trabajo integrará las PR como marco metodológico para tratar con eventos inciertos.

3. ESTRATEGIA Y HEURÍSTICA PROPUESTA

Como se describió anteriormente, sabemos que en la realidad dentro de una industria productiva compleja, las máquinas fallan, existen problemas con el personal, llegan insumos en mal estado, se producen cantidades equivocadas, existen cortes energéticos, los setups toman mucho más de lo esperado, los tiempos de producción varían, existen tiempos de mantención, reparaciones, etc. (O'Donovan et al., 1999). Esta incertidumbre impide tener una visión estratégica de los procesos dentro de la planta de producción, la cual degenera en ineficiencias y dificulta el cumplimiento de plazos acordados con el cliente. Dado que se sabe que existe este sinnúmero de factores por lo cual una planificación no será cumplida, el alumno propondrá una heurística flexible y robusta que sea resistente a los problemas que afectan a la planificación.

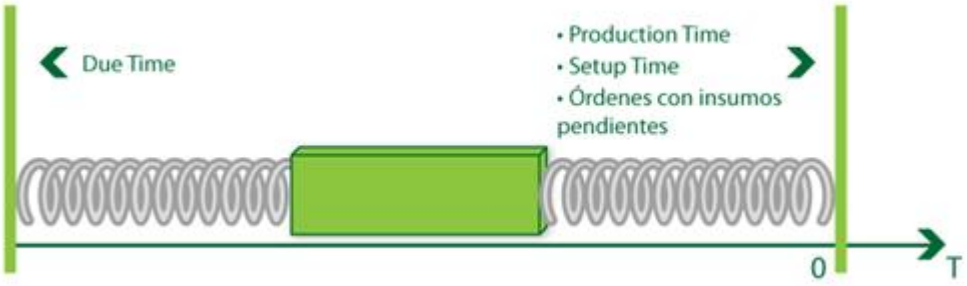
Por otra parte, las líneas de investigación en el campo de la planificación operacional han tomado dos rumbos (Panwalkar e Iskander, 1977): investigación teórica que trabaja con tipos de problemas estáticos (sin incertidumbre), e investigación experimental, con aplicaciones en una planificación de tipo estático y dinámico. Es en esta investigación dinámica donde las heurísticas llamadas "priority rules" (PR) surgen como una manera sencilla y eficiente de efectuar planificaciones operacionales.

Estas reglas pueden clasificarse entre "locales", las cuales sólo necesitan información acerca de los trabajos, y "globales", las que incorporan información acerca de los trabajos y también del medio circundante, como maquinarias y otros.

La idea general es crear una planificación inicial, la cual se sabe que no será respetada a cabalidad. Esta planificación inicial será creada mediante una PR de tipo combinado que asigne un orden a todos los trabajos. Posteriormente, conociendo este orden, se insertarán tiempos muertos al interior de la planificación, con el objeto de absorber cualquier incertidumbre o factor que pudiera producirse y que pueda llegar a alterar la normal ejecución de la planificación (O'Donovan et al., 1999). En este estudio, los tiempos muertos serán introducidos previo estudio estadístico de los factores que más influyen y afectan en tiempo al normal proceso productivo. Esto será comprobado más adelante en la aplicación de este método en la empresa Concha y Toro.

Cabe mencionar que es de interés aplicar este método a cualquier planta productiva que cuente con un registro histórico suficiente de datos como para poder validar estadísticamente la frecuencia y probabilidad con que ocurren cada uno de ellos.

Figura 3.1: Equilibrio de Fuerzas en la Planificación de la Producción



La figura 3.1 muestra el conflicto de fuerzas que se presenta en la planificación de órdenes.

Esto es representado como un bloque con dos resortes en sus extremos, los cuales ejercen una fuerza en sentido opuesto.

Por una parte está la fecha objetivo o de vencimiento de la orden, la cual fuerza a planificar lo más temprano posible en el tiempo. Por otra parte, está el tiempo de producción, el setup time y las órdenes con insumos pendientes, las cuales empujan la planificación hacia un punto cercano a la fecha de vencimiento de la orden.

Dado este conflicto de fuerzas, es necesario utilizar una metodología que englobe estas variables y trate, de alguna manera, de equilibrarlas dentro de los períodos de tiempo respectivos.

Así, la regla de prioridad utilizada será la heurística CR o de Índice Crítico (Companys y D'Armas, 2005), la cual tiene la siguiente estructura:

$$CR = \alpha * d_i + (1-\alpha)(p_i + ST_{i-1}) * \beta \quad 3.1$$

Donde:

d_i : due time

α : parámetro entre 0 y 1

ST_{i-1} : tiempo de setup, considerando el tipo de trabajo anterior a i

p_i : tiempo de producción

β : parámetro de ajuste

Algunas consideraciones acerca de esta heurística son las siguientes:

El motivo de elección de esta heurística viene dado por que considera los parámetros más intensivos en uso de tiempo dentro de la línea de producción.

Además, se presta para incorporar tiempos muertos a cada uno de sus términos. Por otra parte, se destaca la facilidad de cómputo que implica el utilizarla. Dado que posteriormente se planea hacer uso de ella en una simulación, el tiempo de cálculo es una variable importante a considerar.

Combina tres reglas de prioridad, las cuales otorgan preferencia a los pedidos con menor due time, setup time y tiempo de producción. Esto es particularmente interesante para el caso de una empresa con muchos tipos distintos de sku (caso de Concha y Toro), donde la variabilidad en tiempos de setup puede ser desde unos minutos a varias horas, dependiendo de la configuración anterior.

Mientras menor sea el valor resultante, mayor es la prioridad.

La existencia del parámetro β se explica por el hecho de que los due time pueden llegar a ser varios días, mientras que los tiempos de setup y de producción son sólo horas.

Una vez conocida la planificación inicial mediante la aplicación de la heurística recién descrita, se procede a insertar los tiempos muertos dentro de esta programación. Esto se realiza aumentando los tiempos de producción originales, sumándoles la duración de todos los hechos o atrasos en los que se incurre normalmente en la producción pero que no generan producto (interfieren con el normal funcionamiento de las líneas), como son los cortes energéticos, accidentes, productos defectuosos, etc. Para calcular los nuevos tiempos de producción, se utiliza lo siguiente:

$$C_i = ST_i + A + p_i \qquad 3.2$$

Donde:

ST_i: Tiempo de Setup para la orden i.

Ci : hora en que sale el trabajo i del sistema (línea de producción)

A: atrasos múltiples

pi : tiempo de producción

Como existe la posibilidad de que deban enfrentarse situaciones que no han sido previstas en la línea de producción, cabe la posibilidad de que deba efectuarse un nivel mínimo de reprogramación. El criterio a utilizar debe cumplir con los criterios que satisface la heurística recién propuesta. Por lo mismo, se debería hacer uso del right shifting (tomar los pedidos que vienen) pero respetando los tiempos de vencimiento (due times) y minimizando el setup en que debiera incurrirse (Abumaizar y Svestka, 1997).

En definitiva, se trata de acercar a la realidad los tiempos de duración de la producción. Por esta razón, y dado que se utilizarán estudios estadísticos para determinar la duración real de la producción, algunas órdenes saldrán antes de lo programado, y otras, después. Lo interesante, es que ocupando este método, al iniciar los trabajos se conocería con cierta certeza (dependiente entre otras cosas de

la cantidad de registros históricos disponibles para llevar acabo la investigación estadística y determinación de los rangos) la hora de inicio y de término de cada pedido.

3.1 Métricas a Utilizar

Para efectuar el análisis de los sistemas objetos de estudio, debemos considerar establecer las métricas correspondientes con el objeto de efectuar el benchmarking entre los resultados de las políticas actuales y las propuestas.

Las medidas de desempeño que se utilizarán en este trabajo, son las siguientes: tasa de producción, tiempos de setup, tasa de utilización de la línea, litros envasados por hora, tiempo promedio de espera en la cola, tiempo promedio dentro del sistema, número de órdenes entregadas dentro del plazo (porcentaje). También se evaluarán aspectos económicos relacionados con las diferencias entre ambos tipos de procesos.

Entonces tenemos:

$$Tasa_\mathbf{P}roducción[litros/hora] = \frac{\mathbf{P}roducción[litros]}{Tiempo_\mathbf{P}roducción[horas]}$$

Tiempo de setup [horas]: tiempo de preparación promedio de máquinas descritos anteriormente. Incluye CIP (cuando corresponda) y tiempos de preparación ordinarios.

$$Tasa_utilización_línea = \frac{Tiempo_produciendo}{Tiempo_total}$$

Tiempo promedio de las órdenes dentro del sistema: medido en horas.

Número de órdenes procesadas: número total de órdenes que entraron y salieron del sistema.

Número de órdenes entregadas dentro del plazo: Este número será ponderado por la cantidad de litros solicitados en la orden, para efectos de darle más importancia a las órdenes mayores.

4. APLICACIÓN A UN CASO REAL: CONCHA Y TORO

Dado que se quiere probar la efectividad de la estrategia recientemente propuesta, a continuación se procederán a describir las características de la empresa donde se aplicará este estudio y los problemas detectados dentro de ella. Posteriormente se señalarán la metodología de trabajo y la aplicación de la heurística propiamente tal.

4.1 Descripción de Unidades y Macro Procesos Involucrados

Puesto que el alumno está interesado en aplicar la estrategia de mejora y optimización propuesta en la planificación de la producción, se procederá primero a describir el contexto de la empresa que servirá como caso base a perfeccionar.

Dado que se quiere trabajar para dar una mejor experiencia de servicio al cliente, los procesos de la empresa que interesa comprender son los que tienen alguna relación con el tratamiento de las órdenes de compra. Así, el proceso general que debe describirse es principalmente el flujo que sigue una orden de compra a través de los sistemas de Concha y Toro.

Dentro de este flujo participan tres entidades organizativas al interior de la empresa: Unidad de Servicio al Cliente (USC), Departamento de Programación y Líneas de Producción, las que se describen a continuación.

4.1.1 Unidad de Servicio al Cliente

La primera de ellas es la Unidad de Servicio al Cliente o USC. Esta entidad es la encargada de recibir las órdenes de compra del cliente mediante distintas vías, tales como faxes, e-mails, llamadas telefónicas, etc. Además, esta unidad es la encargada de la supervisión del estado de la orden de compra en su proceso a través de todo el sistema y las distintas unidades. Para ello Concha y Toro cuenta con el sistema informático SAP, el cual, entre sus varias funcionalidades, posee un módulo que realiza el seguimiento de las órdenes.

Dado que los clientes se comunican en primera instancia con USC para todos los aspectos referentes a los pedidos, esta unidad utiliza la información proveniente de SAP para mantener informados a los clientes acerca del proceso de avance de sus pedidos, y si es que ocurrirá cualquier demora o problema con los envíos.

Es esta unidad la que registra en los sistemas informáticos el detalle de la orden, el cual posee campos para especificar el tamaño del pedido, la fecha de emisión, la fecha necesaria de embarque, los tipos de productos solicitados, el destinatario y el puerto de desembarque.

La Unidad de Servicio al Cliente también se encarga de darle una fecha tentativa al cliente, puesto que muchas veces es la empresa quien debe dar el plazo de entrega dentro de ciertos rangos.

En general, existen tres tipos de clientes:

Clientes tipo A: Solicitan pedidos a 21 días

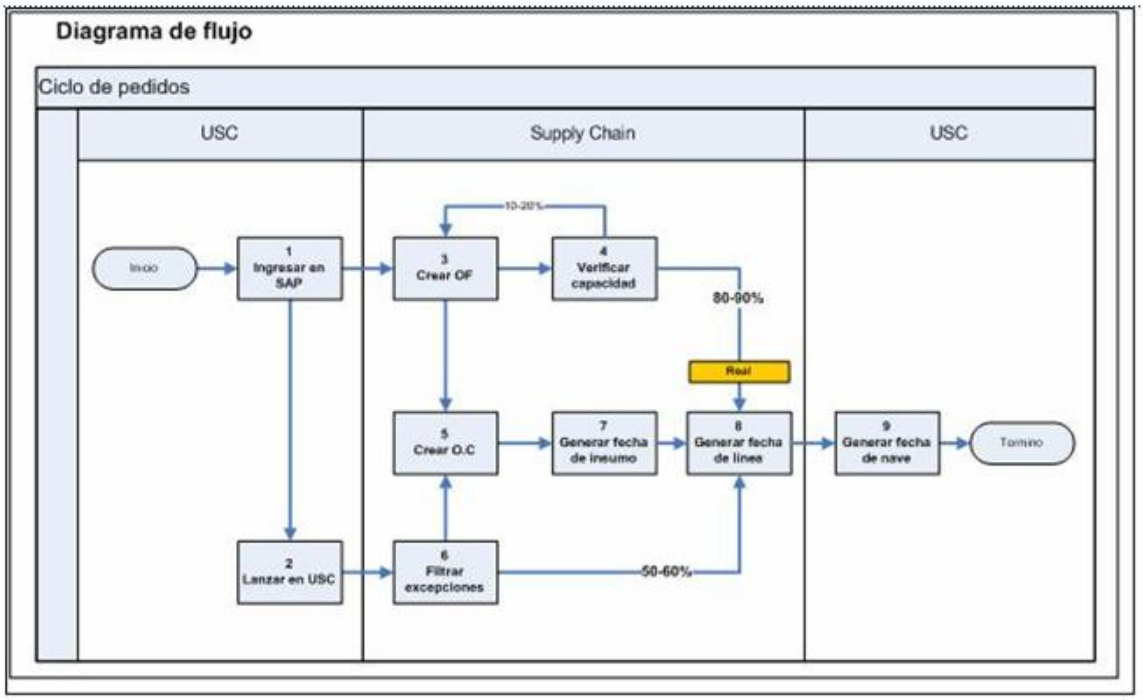
Clientes tipo B: Solicitan pedidos a 30 días

Clientes tipo C: Solicitan pedidos a 35 días

Esta clasificación se realiza con el objeto de privilegiar a los clientes más importantes para la empresa.

Posteriormente, USC determina los niveles de stock de los productos requeridos, los niveles de inventario de materias primas y los tiempos disponibles en las líneas. De no estar disponible el producto terminado necesario en primera instancia, USC también debe generar las fechas para las órdenes de compra de suministros (si es que no los hubiere) e incluso determinar también las fechas de llegada de los suministros a las dependencias de la empresa. Teniendo todo este conocimiento integrado, USC puede confirmar al cliente la fecha tentativa para el envío de los productos, para lo cual el cliente puede aceptarlo o denegarlo. Todo este proceso lleva aproximadamente 2 días hábiles. La figura 4.1 muestra el diagrama de flujo de la estructura de los procesos de decisión tomados.

Figura 4.1: Diagrama de Flujo Entrada de Órdenes



4.1.2 Departamento de Programación

Posteriormente, una vez que el cliente acepta la fecha tentativa de embarque que USC propone, es el turno de la siguiente unidad administrativa de Concha y Toro, el Departamento de Programación.

Programación tiene la responsabilidad primaria de planificar la producción al interior de la planta, entregando el detalle a producir y las fechas requeridas para cuando es necesaria tal producción.

Las políticas de planificación de Concha y Toro contemplan variados aspectos operativos, algunos de ellos dependientes del producto que se está produciendo (tipos de vinos). De esta forma, se producirá, por ejemplo, un blanco antes de un tinto y un Premium antes de uno común con el objeto de minimizar los tiempos muertos donde se efectúa la limpieza de las máquinas (CIP). En general, se considera una regla de programación del tipo "earliest due time", puesto que es de máximo interés para la empresa cumplir con las fechas prometidas. Además, se especifican algunas reglas para el tamaño de los lotes y otras optimizaciones menores.

La tabla 4.1 explicita las principales reglas de programación que utiliza la empresa para efectuar la planificación de órdenes.

El departamento de programación también posee algunas reglas internas, como por ejemplo la programación en "cascada" que propone utilizar las líneas de producción en cierto orden, determinado por la velocidad de las máquinas. De esta forma, se

utilizará la línea 1 antes de la 2 dado que la línea 1 posee mayor velocidad que la línea 2. Por otra parte, esta elección depende también del tamaño del lote que se quiere producir, dado que la empresa ha determinado lotes mínimos para trabajar en cada línea, los cuales vienen determinados por razones de costo y de holgura para emergencias.

El orden de ocupación de las líneas y los lotes mínimos de producción para cada una de ellas viene dado en la tabla 4.2.

Tabla 4.1: Principales reglas de Programación

Regla	Motivo
Optimizar los tamaños de lote agrupando la mayor cantidad de órdenes de fabricación en una sola, si no se puede hacer se deben dejar en la misma línea y momento programado	Aumentando el tamaño de los lotes, disminuimos el número de CIP y setups, menos tiempo requerido
Optimizar la programación fabricando los vinos tintos después de los blancos y no al revés, con el fin de reducir los números de CIP, siempre que el servicio lo permita	Reducción de CIP
Programación en Cascada	Velocidades de las máquinas
Órdenes con tamaño de lote inferior a 10 cajas deben ser producidas por línea de productos especiales	Mucho mas lenta, línea manual
Optimizar la producción agrupando las O.F de acuerdo a sus hipercódigo (vino-botella-corcho)	Disminución del setup, sólo queda etiquetado, el producto así es diferenciado hacia el final de la línea
Optimizar la programación dejando un día a la semana para fabricar todos los botellines posibles	Se agrupa toda la producción semanal en una sola línea
Fabricar por productos especiales aquellos Fert definidos como marcas globales, los cuales tienen tamaños de lote menores a 100 cajas y si hay stock (sticket). Para aquellos lotes mayores a 100 cajas deben ser fabricados en las diferentes líneas de producción de acuerdo al tamaño de lote	Marcas globales: Son halb (producto intermedio) genéricos, pero se diferencian solamente por el sticket (Europa u otras locaciones)
Para aquellos lotes menores a 700 cajas y que no son marcas globales se debe fabricar vía Halb genérico y con versión indirecta, siempre que el stock disponible lo permita	halb (producto intermedio) genérico
Visualizar todas aquellas O.F con tamaño de lote mayor a 5000 cajas	para llevar más control sobre la producción y no sobrepoblar las líneas
Utilizar cajas pertenecientes a productos terminados las cuales se pueden utilizar reprocesándolas	Reproceso, reutilización de insumos ya utilizados
Optimizar la producción creando un plan de etiquetado en el tiempo en que se realiza CIP	En una línea continua, cuando se hace CIP, la parte final de la línea (etiquetado) está desocupada
Utilizar stock perteneciente a productos terminados y que no tienen pedidos asociados	Con el fin de aumentar la velocidad de respuesta
Cuadrar el vino al tamaño de cuadratura en un 100%	Optimizando el consumo desde los estanques de vinos
Programar grandes lotes de fabricación	Para disminuir setup y CIP
Revisión del programa de producción en detalle lotes, tiempo factor	Para adaptarlo a la realidad

Tabla 4.2: Orden de ocupación de líneas y lotes mínimos para ellas

Lineas	Setup - Dia	Lote Minimo
1	6	3000
2	8	2500
6	12	770
3	15	680
7 (Z)	21	Menores a 680

El flujo de planificación de las órdenes dentro del departamento de programación está dado por las siguientes actividades:

1. Se descargan las órdenes provisionales del sistema SAP, tomándose desde el sistema las órdenes que previamente han sido agendadas por USC

2. Filtrar órdenes según zona geográfica, con el objeto de que cada orden quede a cargo de la persona responsable regional

3. Chequeo de capacidad en una planilla Excel, con el objeto de conocer la disponibilidad de horas en las líneas de producción

4. Chequeo de stock de vino requerido

5. Para órdenes pequeñas se chequea la disponibilidad de halb (producto intermedio)

6. Se consulta la fecha objetivo[1] asignada por USC y se procede a planificar de acuerdo a ella

7. Creación de la OF[2] y enviada al programador de largo plazo

8. Se inserta la OF en la planilla de capacidades para reservar tiempo en las líneas

9. Visualización de pedidos pendientes por programar

10. Chequeo de insumos

11. Ingresar pedido de insumos (si es que no hay suficientes)

929292

[1] Fecha objetivo: fecha para la cual el producto debe estar producido

[2] OF: Orden de Fabricación

12. Gestión de insumos con proveedores y compradores

13. Cuadratura de fechas objetivo y de las OF

14. Ajuste de fechas de OF y stacking[3] según llegadas de insumos

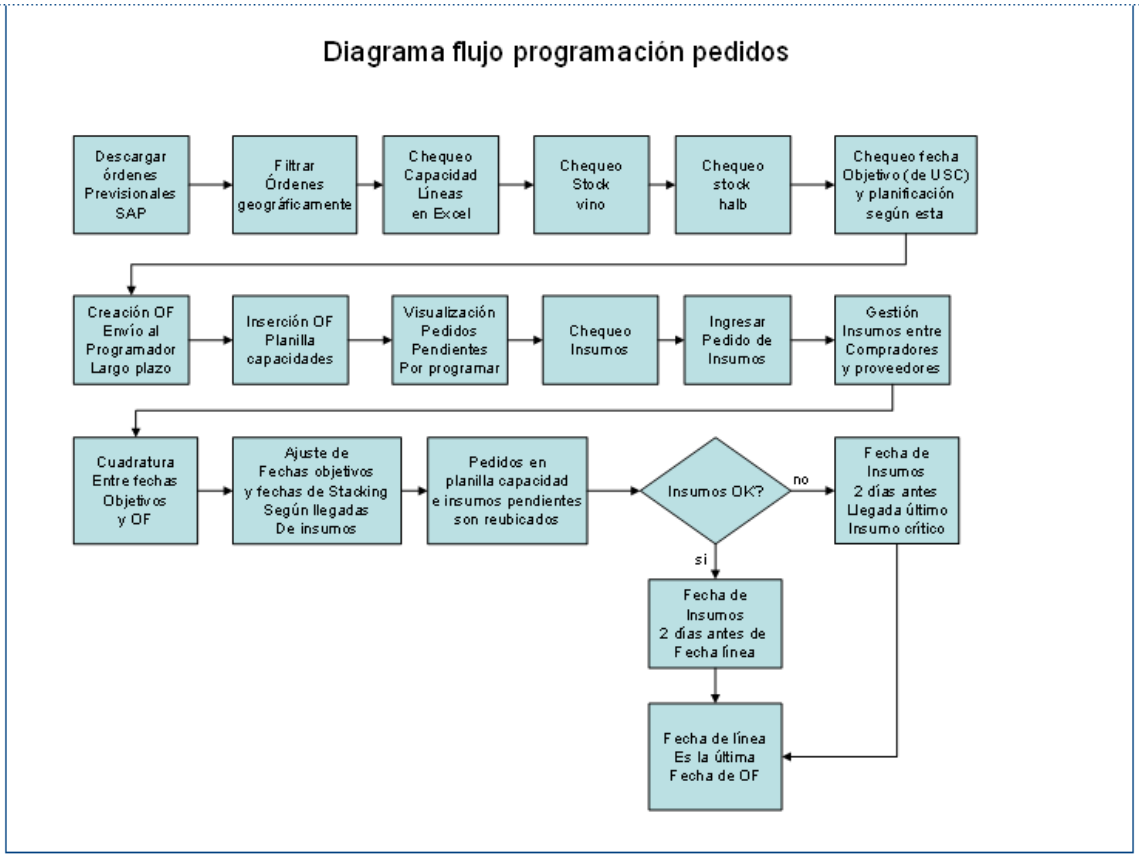
15. Pedidos que ya están en planilla de capacidad y aún están pendientes por insumos, son reubicados hacia otra fecha

16. Para los pedidos que posean insumos "ok", se procede a poner fecha de insumos 2 días antes de la fecha de línea, para el resto, la fecha de insumo es la llegada del último insumo crítico

17. Una vez que se está ok con los insumos, se pone la fecha de la última OF como fecha de línea.

Este flujo de pasos se encuentra descrito en la figura 4.2.

Figura 4.2: Diagrama de flujo de programación de pedidos



929292

[3] Fecha de Stacking: Fecha en la cual el producto se envía al puerto

4.1.3 Líneas de Producción

Las líneas de producción de la planta de Pirque de Concha y Toro producen un gran porcentaje de los vinos que vende la empresa, con una capacidad de 48.000 cajas de 9 litros por día.

La planta de Pirque cuenta con varias líneas de producción donde se produce el vino embotellado y en caja, champañas y otros tipos de licores. Para efectos de este estudio se considerará solamente la línea 7 (Z), que produce vino embotellado. Esto es así porque uno de los objetivos más importantes de esta tesis es disminuir la cantidad de reprogramación en las líneas, y justamente la línea 7 es la que cuenta con mayor cantidad de transacciones y reprogramaciones diarias dentro de la planta. La composición de algunas de estas líneas se describe en la figura 4.3.

Las 2 primeras líneas son completamente automatizadas, y por lo mismo muy veloces, produciéndose todo tipo de botellas. Las tres líneas restantes consideran el uso de personal humano en alguno de los eslabones. La línea 3 posee un paletizado manual, la Z presenta un despaletizado, un embalado y un paletizado manual, mientras que la línea BIB que produce sólo vino en caja posee un embalado y un paletizado manual.

En general, el procedimiento a lo largo de las líneas es muy similar, constando de los siguientes elementos:

Despaletizado automático: Se separan las botellas vacías con el objeto de ponerlas en la cinta transportadora

Monoblock: Máquina en la cual se enjuaga, se llena y se tapa la botella

Capsuladora: Se coloca la cápsula

Etiquetadora: Se coloca la etiqueta, pudiendo ser de papel normal o engomada

Embaladora: Se colocan las botellas dentro de las cajas

Armadora de cajas

Paletizadora automática

Envolvedora de pallet automática

Figura 4.3 Líneas de Producción en Pirque

La producción en estas líneas contempla cierta optimización. El personal de Concha y Toro le llama “Sistema en V”, el cual consiste en poner más insumos de los que pueden pasar por los cuellos de botella (máquinas llenadora y etiquetadora). De esta forma, si es que se presenta algún problema aguas arriba o abajo, los cuellos de botella siempre están funcionando. Este aumento en el WIP se realiza en ciclos, para no acumular stock en la entrada del cuello de botella.

Las velocidades de las líneas están dadas en la tabla 4.3, dependiendo del formato de botella y la configuración de la caja que se utilice.

Tabla 4.3 Velocidades de las líneas

Linea	Formato botella	Formato caja	MIX	Velocidad Nominal (botellas por hora)
Línea 1	750	6	Línea 17506	16.000
Línea 1	750	1	Línea 17501	16.000
Línea 1	750	12	Línea 175012	18.500
Línea 1	700	6	Línea 17006	16.000
Línea 1	700	12	Línea 170012	18.500
Línea 1	1500	6	Línea 115006	-
Línea 2	750	6	Línea 27506	13.000
Línea 2	750	12	Línea 275012	13.000
Línea 2	700	6	Línea 27006	13.000
Línea 2	700	12	Línea 270012	13.000
Línea 2	1500	6	Línea 215006	9.000
Línea 3	750	6	Línea 37506	10.000
Línea 3	750	12	Línea 375012	10.000
Línea 3	750	1	Línea 37501	10.000
Línea 3	700	6	Línea 37006	10.000
Línea 3	700	12	Línea 370012	10.000
Línea 3	187	24	Línea 318724	10.000
Línea 3	250	36	Línea 325036	10.000
Línea N	750	6	Línea N7506	12.000
Línea N	750	12	Línea N75012	12.000
Línea N	700	6	Línea N7006	12.000
Línea N	700	12	Línea N70012	12.000
Línea N	1500	6	Línea N15006	10.000
Línea N	187	24	Línea N18724	12.000
Línea N	250	36	Línea N25036	12.000
Línea A y Z	750	6	Línea A y Z7506	4.000
Línea A y Z	750	12	Línea A y Z75012	4.000
Línea A y Z	700	6	Línea A y Z7006	4.000
Línea A y Z	700	12	Línea A y Z70012	4.000
Línea A y Z	1500	6	Línea A y Z15006	4.000
Línea A y Z	187	24	Línea A y Z18724	4.000
Línea A y Z	250	36	Línea A y Z25036	4.000

4.2 Problemas Detectados

El departamento de programación considera todas las órdenes de compra recibidas diariamente, incluyendo dentro de la planificación todos los pedidos en un esquema bastante improvisado. Dada la gran cantidad de pedidos que se reciben diariamente (clientes nacionales e internacionales), en primera instancia lo que más importa es

respetar la fecha objetivo (fecha en la que debe estar la orden producida), programándose todo bajo este criterio y optimizándose "a ojo" y pobremente la cadena de órdenes de fabricación. Desgraciadamente, dado que permanentemente están surgiendo inconvenientes tanto en los pedidos (pueden existir órdenes con insumos pendientes que se insertan luego a última hora), como en las líneas de fabricación (máquinas propensas a fallas), además de toda la incertidumbre rondando los procesos, toda la optimización desarrollada se pierde y se debe adoptar un esquema de "apagado de incendios", donde se fabrica lo más urgente y se pierde la visión general del proceso productivo. Muchas veces la planificación queda obsoleta antes de llegar siquiera a manos de los operarios. En una reunión con el encargado de las líneas de producción de Concha y Toro, éste le comentó al alumno que en las líneas se hacía una reprogramación casi constante, que iba desde un mínimo de un 10% diariamente, pudiendo también darse el caso de reprogramar el 100% de la planificación. Además, por esta misma razón varias veces habían sido despachados pedidos por vía aérea, con el consiguiente aumento en los costos porque la planificación no ha servido, en ocasiones, para pronosticar un déficit de productos ni atrasos que repercuten en las fechas comprometidas con el cliente.

En particular, el alumno pudo identificar varios motivos por los cuales la planificación confeccionada por el departamento de programación no es eficiente. A continuación se exponen los principales:

La programación confeccionada se entrega en un detalle muy minucioso de minutos y segundos y no contempla posibles atrasos por fallas de máquinas o por insumos insuficientes. Al ser tan detallada, aunque se trate de respetar con la máxima rigurosidad el programa por parte del personal de las líneas de producción, la planificación queda obsoleta debido a que no es factible una predicción tan precisa habiendo tantos factores de índole aleatorio que la afectan.

Debido a que existen cerca de 6.000 sku distintos, el departamento de programación no tiene estimaciones precisas de los tiempos de setup incurridos en las líneas de programación, que de hecho son bastante irregulares. Por lo mismo, después de cada ajuste o setup, la planificación se atrasa (o adelanta, en menor medida). Se utiliza una constante equivalente a 0,23 hrs. como estimador para todos los setups posibles, lo que es bastante impreciso.

La planificación no considera las fallas de las máquinas en las líneas de producción, por lo que cuando sucede cualquier eventualidad (bastante frecuentes), la planificación se atrasa.

Pedidos ingresados a última hora o en forma urgente. La planificación actual no tiene forma de ajustarse si es que ingresan órdenes de estas características.

Las reglas de programación rara vez son cumplidas, puesto que cuando las fechas de embarque están comprometidas (cosa bastante frecuente) se pasa por alto cualquier optimización y se produce lo que se necesite sin considerar tiempos de setup, tamaños de lote, etc.

El software utilizado para planificar es Excel. Claramente esta planilla no presenta las funcionalidades necesarias para el trabajo que se requiere. El personal de

programación trabaja diariamente con planillas gigantescas de datos que demoran varios minutos en abrirse, entorpeciendo la recuperación de datos y el análisis profundo de los mismos.

Y en general, la planificación no se ajusta a la realidad de las líneas de producción.

Este tipo de planificación obliga al personal operario de la planta a reprogramar constantemente las órdenes de fabricación, pasando por alto la planificación original. Esta situación lleva consigo que existan un sin número de ineficiencias al interior de la planta, puesto que sólo existe una visión de muy corto plazo que no contempla interrelaciones entre pedidos, prioridades, etc. Además, esto hace muy difícil temas imprescindibles como el balanceo de líneas y en particular, entorpece la gestión eficiente de adquisición de insumos, haciendo que gran parte del trabajo realizado en la planificación original sea muchas veces en vano.

4.3 Metodología de Trabajo

Considerando la tipología de los problemas descritos, la metodología a seguir en este estudio será como sigue.

En primer lugar, el alumno quiere mostrar las diferencias entre la planificación proveniente del departamento de programación y la producción realmente realizada. Esto se hará a través de estadísticas, mostrándose gráficamente la brecha existente entre ambos procesos y calculándose la diferencia en tiempo.

Luego se describirán los experimentos a realizar, con el objetivo de situar comparativamente el lugar que ocupan el caso base y la heurística propuesta.

Posteriormente se analizarán ciertos eventos dentro del sistema productivo de la empresa con el fin de recuperar estadísticas que puedan alimentar los experimentos que se quiere realizar. Con los datos recopilados, se modelarán los procesos internos de la planta de Pirque de la empresa utilizando los registros históricos de las órdenes de compras llegadas a sus dependencias en el período 2005-2007. Con esta información, se construirá una simulación para cada una de las estrategias propuestas funcionando bajo las mismas condiciones operativas, para posteriormente, definir las métricas acordes a lo que se quiere medir. Finalmente se recuperarán los resultados correspondientes y se analizarán. Esto permitirá conocer el impacto de utilizar una u otra política dentro de la empresa, mediante la utilización de métricas que las comparen.

4.4 Análisis del Sistema

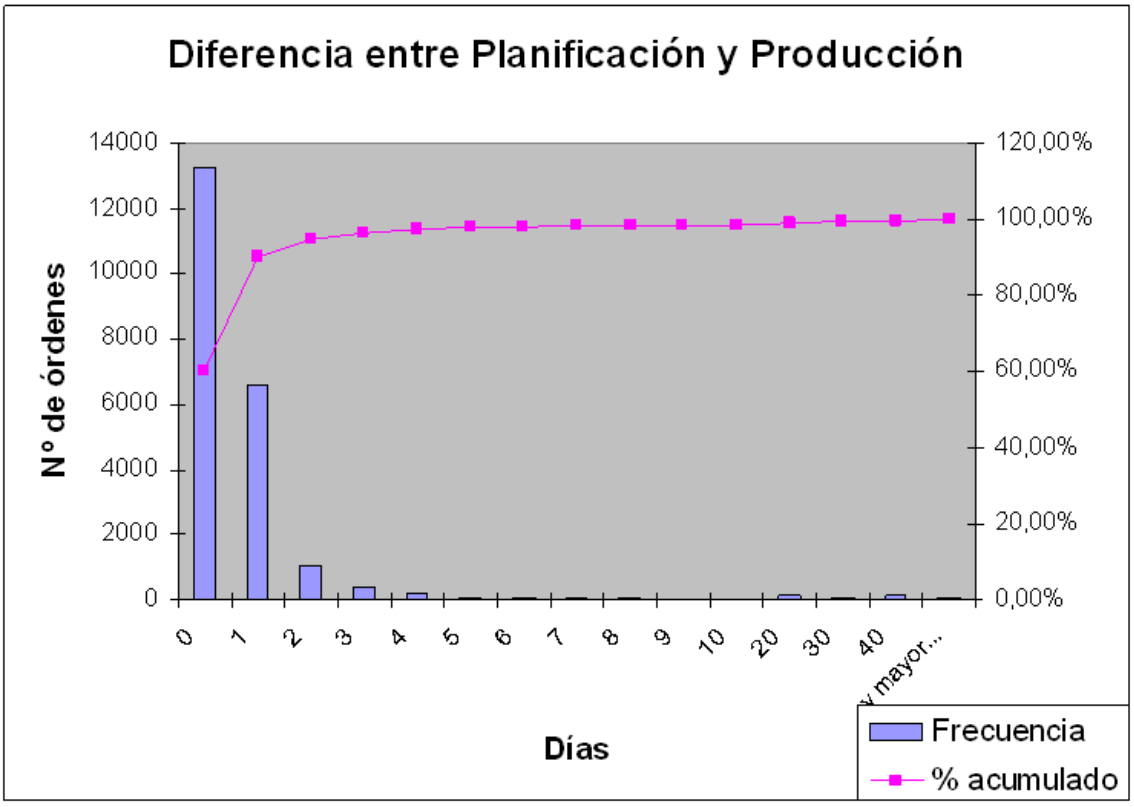
En este apartado se quiere mostrar qué tan grande es la brecha existente entre la planificación realizada por el departamento de programación de Concha y Toro, con el objeto de motivar la investigación.

Posteriormente se hace un estudio estadístico de los principales eventos que demandan tiempo en las líneas de producción de Concha y Toro, los cuales servirán como entrada a las heurísticas que se quieren probar.

4.4.1 Diferencia entre resultados de planificación y producción real

Como primer punto a analizar, se quiere ilustrar la diferencia existente entre la planificación confeccionada por el Departamento de Programación de la empresa y la producción realmente realizada en las líneas de la planta. Así, a manera de motivación, el alumno pretende mostrar la brecha existente entre ambos procesos. Para este análisis, se consideran los registros históricos de Concha y Toro en el período 2005-2007.

Figura 4.4: Diferencia entre planificación y producción real. Período 2005-2007.

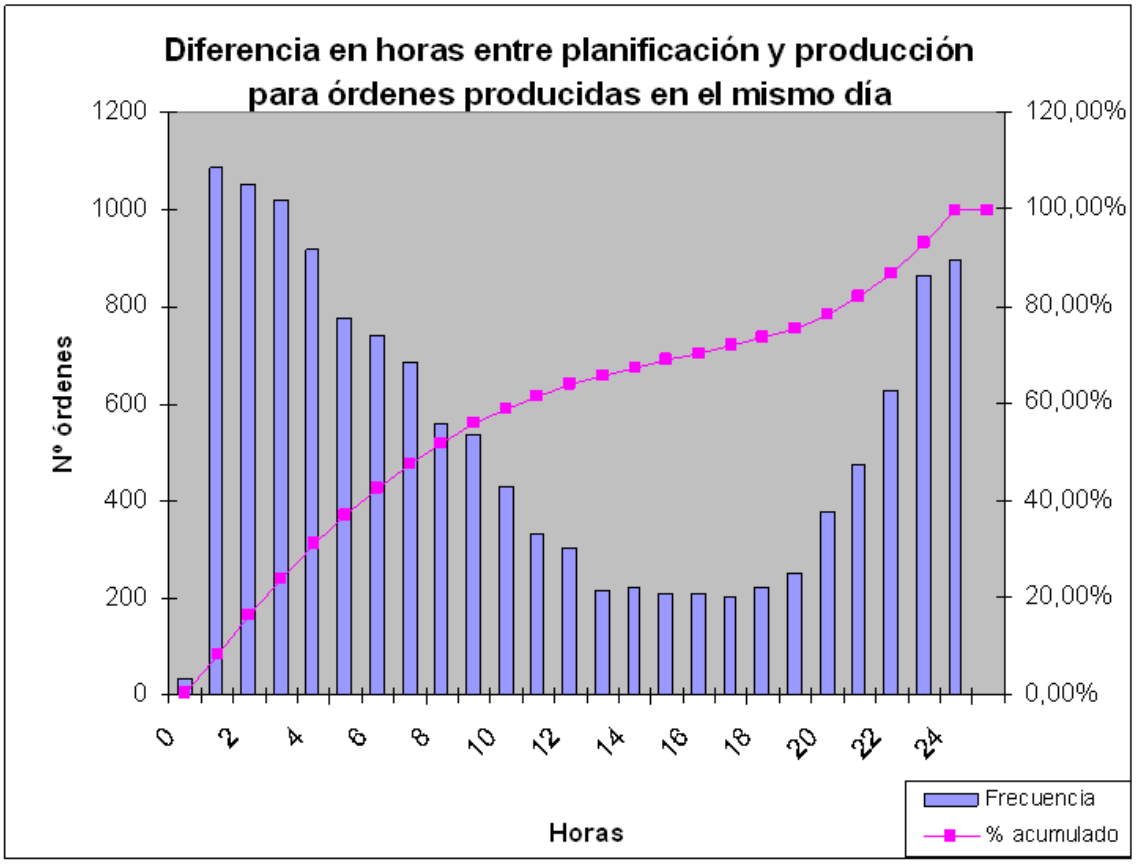


En la figura 4.4 se aprecia la cantidad de órdenes que se producen el mismo día para el que se planifican (día 0), las que se producen el día posterior a la fecha de planificación (día 1) y así sucesivamente. Vemos que cerca del 60% de los pedidos se produce en el mismo día en que se programa, pero el 40% restante se realiza en los días siguientes. Existen casos extremos donde se produce hasta 233 días

después de lo planificado. Estos datos corresponden a 22.062 órdenes contando los años 2005, 2006 y 2007.

Para las órdenes que se producen dentro del mismo día planificado (13.260 pedidos en el lapso 2005-2007), también existe una alta variabilidad en la hora de producción real. En la figura 4.5 vemos que muy pocas se realizan a la hora pronosticada (sólo 35 órdenes), existiendo una distribución acentuada en los extremos donde con mayor frecuencia se ejecutan las órdenes.

Figura 4.5: Diferencia en horas entre planificación y producción para órdenes dentro del mismo día.



Vemos, entonces, que existe una brecha no menor entre la fecha de planificación y la fecha de producción. Las estadísticas recién mostradas no consideran el orden de producción de los pedidos, donde también existen diferencias notoriamente marcadas entre ambas directrices.

Esto provoca una serie de complicaciones, íntimamente ligadas con el servicio al cliente. Por otra parte, las optimizaciones hechas por el departamento de programación se pierden al no respetarse ni el orden de producción, ni las fechas determinadas.

4.4.2 Descripción de Experimentos

Para efectos de benchmarking, se decidió contar con 4 experimentos. Primeramente se hará la simulación del caso base, según lo estudiado al interior de las instalaciones de Concha y Toro. Esto será contrastado con la estrategia propuesta descrita anteriormente (regla de prioridades combinada) la que considera los tiempos de setup, tiempo de proceso más corto y fecha de embarque más pronta. Además, se hará el estudio de dos políticas más:

SPT (Shortest Process Time): Se realiza primero el trabajo que tiene menor tiempo de proceso.

LPT (Longest Process Time): Se realiza primero el trabajo que tiene mayor tiempo de proceso.

Cada uno de estas políticas se llevará a cabo por medio de una simulación.

4.4.3 Estudio Estadístico de Procesos Principales

Con el objeto de entender el funcionamiento de los procesos internos de las plantas de producción de Concha y Toro y de reunir estadísticas e información, se conversó con las partes involucradas en los distintos procesos productivos y gerenciales, llegando finalmente a la conclusión de que el principal problema enfrentado por la empresa es conseguir despachar los pedidos a tiempo. El alumno determinó que este problema podría ser solucionado en gran medida si es que el sistema de planificación de órdenes utilizado puede llegar a optimizarse. Por lo tanto, el funcionamiento de la planta puede mejorar sustancialmente si es que se llega a incrementar la efectividad de la planificación.

Para ello, es necesario estudiar el comportamiento de ciertos procesos dentro de la línea de producción, con el objeto de poder simularlos. Este estudio será realizado sobre la base datos de registros históricos de órdenes de compra de Concha y Toro en el período del año 2007. Los registros disponibles comienzan a partir del año 2002, pero se considera que por razones de actualización conviene concentrarse en los tres últimos años.

Se sabe que cada orden de compra está compuesta de múltiples sku, se considerará que cada una de ellas ya fue analizada y loteada, es decir, se agruparon todos los sku correspondientes en subgrupos (lotes), los cuales pasan a ser una OF u orden de fabricación.

Dado que la heurística CR es la más completa (y la que más información necesita), se utilizará como ejemplo para reconocer lo que debe recopilarse.

La heurística CR tiene la siguiente estructura:

$$CR = \alpha\, d_i + (1 - \alpha)\,(p_i + \beta * ST_{i-1})$$

Para la determinación de la heurística es necesario que determine los siguientes parámetros:

d_i : due time

α : parámetro entre 0 y 1

ST_{i-1} : tiempo de setup, considerando el tipo de trabajo anterior a i

P_i : tiempo de producción

β : parámetro de ajuste

a) Due time (d_i)

Concha y Toro maneja un sistema de clasificación de clientes basado en la importancia que tiene cada uno de ellos para la empresa. Así, existirán clientes A, B o C, que pueden solicitar productos a 21, 30 y 35 días, respectivamente. Según los registros históricos, los resultados son los que se muestran en la tabla 4.4.

Tabla 4.4: Probabilidad de aparición de un pedido tipo A, B o C

%	Categoría	Días
16,3	A	21
51,6	B	30
32,1	C	35

b) Product Time (p_i)

El tiempo de producción depende del tamaño de la orden y de la velocidad de la línea. Asumiremos que la velocidad de la línea es constante y que no depende del tipo de producto que se está procesando, puesto que todos los tipos de órdenes tienen características similares. La velocidad de la línea es de 4000 botellas de 750 cc. por hora.

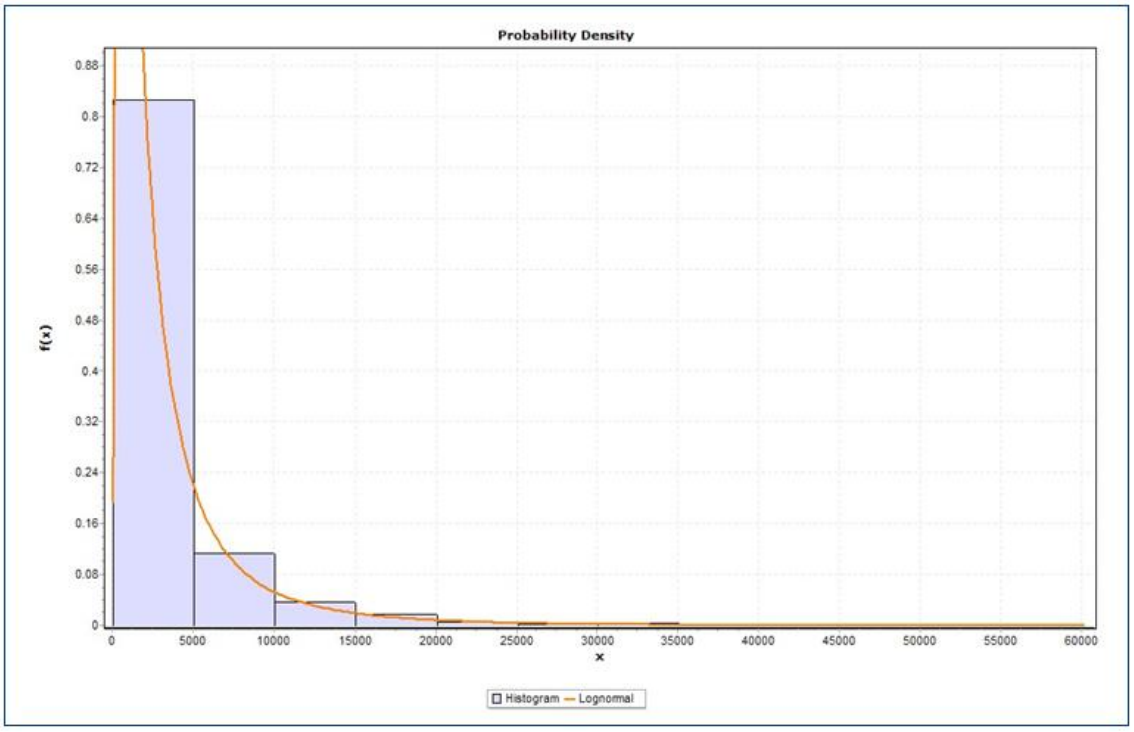
La distribución de los tamaños de las órdenes que se encontró fue una lognormal con parámetros μ = 7,4239 litros y σ = 1,1575 litros.[4]

929292

[4] El software utilizado para encontrar la distribución correspondiente en este caso y los siguientes fue EasyFit, versión 3.0

Esta distribución fue obtenida mediante el estudio de los productos planificados para la línea 7 durante todo el año 2007 (3945 órdenes). Se aprecia en la figura 4.6.

Figura 4.6: Distribución de los tamaños de las órdenes, año 2007. El eje horizontal muestra los tamaños de las órdenes, y el vertical, la probabilidad de aparición.



c) Parámetro α

Este parámetro será determinado según los resultados de las simulaciones, pues debe calibrarse. Según los estudios realizados por investigadores (Companys y D'Armas, 2005) y las calibraciones hechas en las simulaciones en este trabajo, lo más adecuado es mantener un α = 0,2.

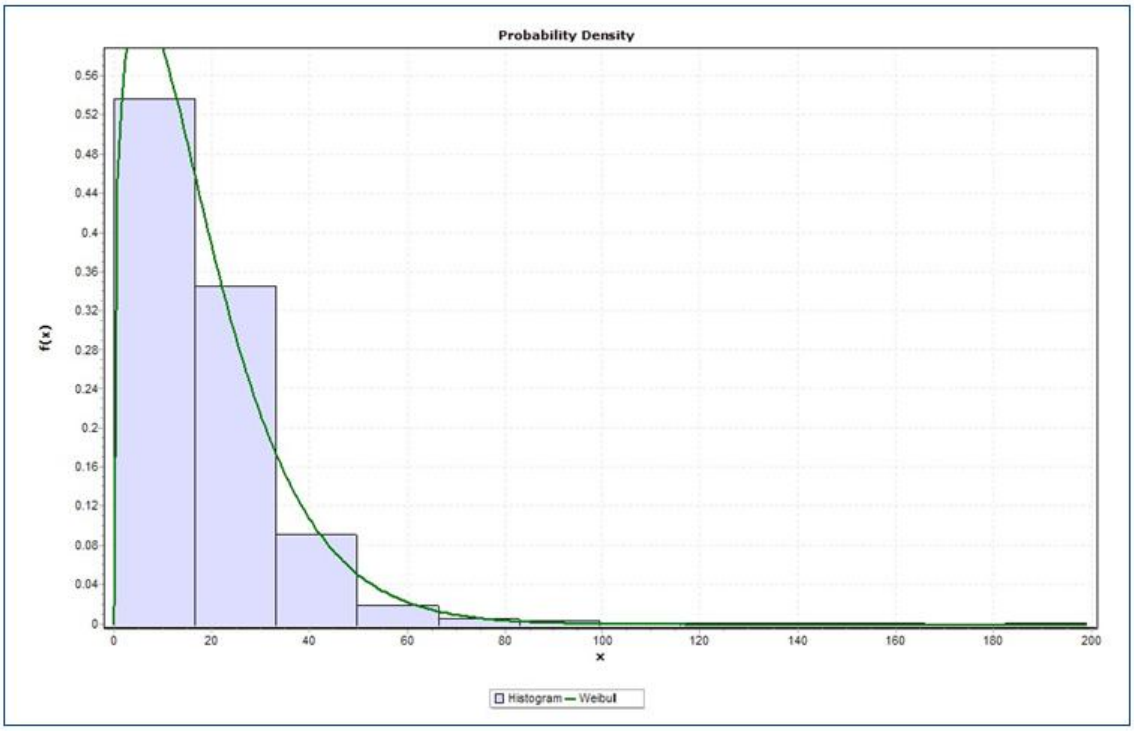
d) Setup Time ST_i

Para evaluar el tiempo de setup, se consideró que para efectos de este estudio, lo ideal es dividirlo en dos partes. Por un lado, existen muchas actividades destinadas a preparar las maquinarias para producir el sku siguiente, lo cual se llamará "preparación". Por otra parte, existe un tiempo destinado a la limpieza de las partes de la línea, llamado "CIP".

Preparación: El tiempo de Preparación de las máquinas e insumos vendrá dado por distintos acontecimientos. Estos, en general, corresponden a cambios de formato de botellas, de etiquetas, de corchos, de cápsulas, de cajas, etc. Esta preparación ocurre cada vez que se cambia el tipo de producto a producir, o cuando se termina

la producción de un lote. Como todos estos cambios corresponden a hechos del mismo tipo, la duración de todos ellos se agrupará en una sola distribución de probabilidad histórica. Estadísticamente, se encontró que estos tiempos corresponden a una función de distribución Weibull, con α = 1,2682 y β = 19,4. Esto se ve reflejado en la figura 4.7, donde también se aprecia que en cerca de la mitad de los casos el tiempo consumido es menor a 20 minutos.

Figura 4.7: Distribución de los tiempos de preparación, el eje horizontal corresponde a los minutos consumidos y el vertical, a la probabilidad del suceso



CIP: El proceso que toma más tiempo dentro del setup es conocido como CIP. Este consiste en una limpieza efectuada a las maquinarias de la línea de producción cada vez que se produce un ítem de mayor calidad (vinos Premium) después de haber producido uno inferior, o cada vez que se produce un blanco después de un tinto. El detalle de estas transacciones es indicado en la tabla 4.5, donde un 0 representa que no hay CIP, y un 1 cuando si lo hay.

Para efectos de estudiar la composición de los tiempos de CIP, se procedió a encasillar los distintos tipos de vinos producidos en tinto, blanco y Premium. Esta clasificación se encuentra en la tabla 4.6.

Tabla 4.5: Existencias de CIP dependiendo del producto anterior y actual

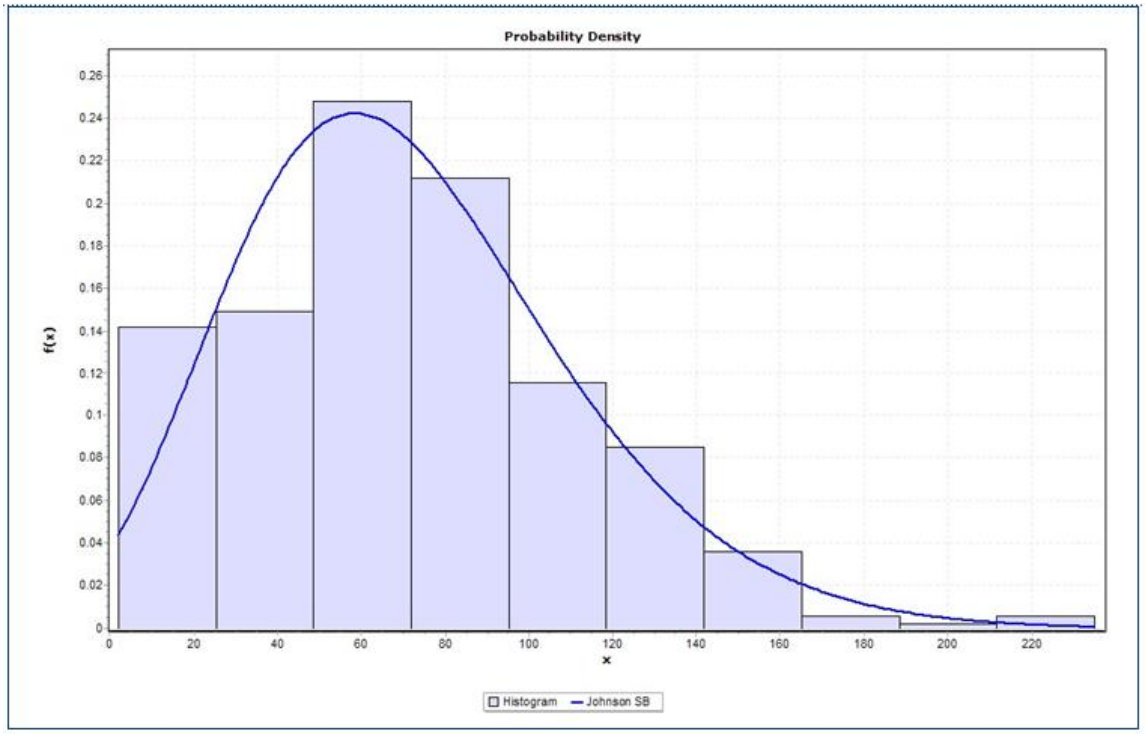
		Producto Anterior		
		tinto	blanco	premium
Producto Actual	tinto	0	0	0
	blanco	1	0	0
	premium	1	1	0

Tabla 4.6: Clasificación de vinos según su tipo y marca (tinto, blanco o Premium)

Clasificación de vinos por tipo y marca		
Tintos	Blancos	Premium (marca)
Cabernet Sauvignon	Sauvignon Blanc	Amelia
Shiraz	Riesling	Don Melchor
Merlot	Chardonnay	Almaviva
Pinot Noir	Voignier	20 barrel
Carmenere	Semillón	Peumo
Malbec		Ocio
Syrah		Terrunyo
Zinfandel		Marqués CC
Moscatel		Visión
		Society
		Reserva

La distribución observada para el CIP corresponde a una función Johnson SB con parámetros γ = 4,5049, δ = 2,9496, λ = 791,65, ξ =-74,152.

Figura 4.8: Distribución de tiempos de limpieza (CIP). El eje horizontal muestra los minutos que se consumen, y el vertical, la probabilidad.



Dado que existe una gran probabilidad de que se consuman más de 100 minutos en cada limpieza, necesariamente hay que tratar de minimizar la cantidad de procesos que se realizan de este tipo. Por lo mismo, una de las variables a considerar dentro de la estrategia propuesta, privilegia la configuración con menor cantidad de limpiezas.

De la figura 4.8, se aprecia una alta variabilidad dentro de los tiempos de CIP. Esto se debe a que, aparte del proceso de lavado, se realiza también un cambio en una serie de filtros, los cuales deben hacerse en conjunto con pruebas de integridad. Algunas veces, estas pruebas deben realizarse varias veces hasta asegurarse de que los filtros están bien situados y cumplen su función. En algunas otras ocasiones, también se efectúan pruebas de microbiología, las cuales retrasan aún más el proceso. Finalmente, los implementos de lavado también fallan, por lo que el proceso completo puede llegar a durar más de tres horas, en ocasiones.

Cabe mencionar que en términos productivos, hay varias industrias que poseen este tipo de proceso de limpieza. Este está asociado fuertemente a empresas que necesitan efectuar el lavado de sus instalaciones antes de producir productos de mejor calidad o de distintas características físico químicas (por ejemplo refinerías de petróleo, combustibles, aceites, pinturas, bebidas en general, etc.)

e) Tipo de producto solicitado:

Dado que para efectos del proceso de limpieza (uno de los más intensivos en consumo de tiempo) se clasificaron los tipos de productos en tres grandes grupos

(tinto, blanco y Premium), en la tabla 4.7 se detallan las probabilidades de aparición de órdenes de fabricación de tales características.

Tabla 4.7: Probabilidad de aparición de una orden de vino (tinto, blanco o Premium) para la línea 7

	Total linea 7 2007	
	cantidad	%
tinto	1602	48,53
blanco	892	27,02
premium	807	24,45
total	3301	100

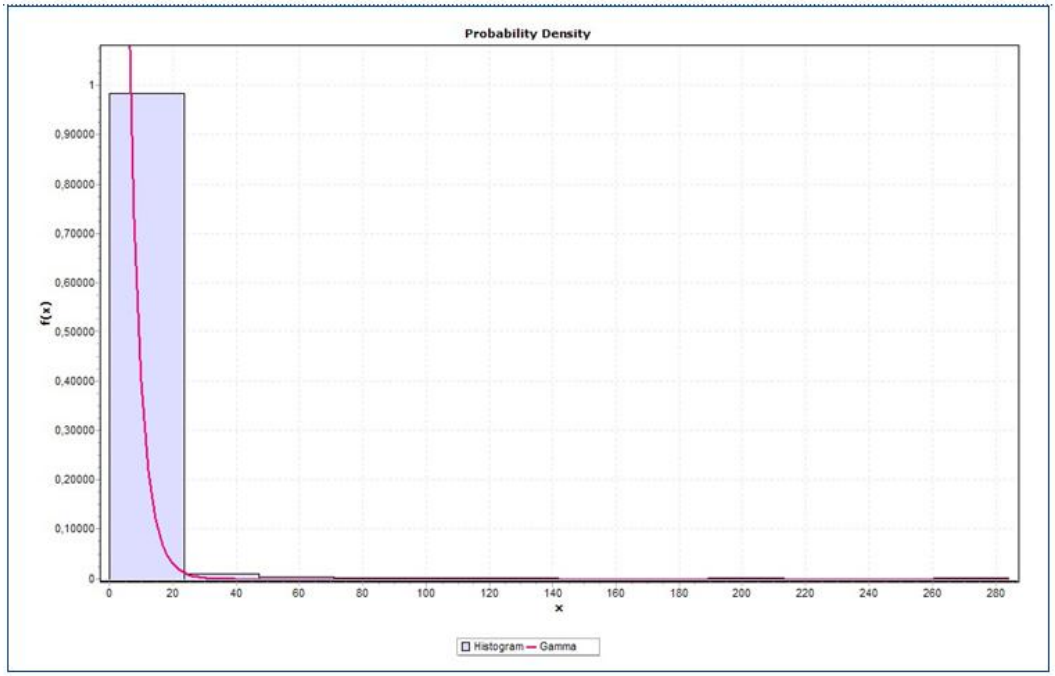
Una vez satisfechos los requerimientos de la heurística de planificación, Revisamos cuáles son los que necesitamos para producir e insertar los tiempos muertos dentro de la programación. Para ello observamos la estructura de la ecuación 3.2:

$$C_i = ST_i + A + p_i$$

Dado que los tiempos de producción y los tiempos de setup ya fueron estudiados estadísticamente, nos queda analizar los atrasos (A) que pudieran existir una vez que el pedido ya se está produciendo. Estos atrasos corresponden, en el caso de Concha y Toro a eventos tales como accidentes personales, averías, ajustes, regulaciones, quebrazones de botellas, volcado de productos, cortes energéticos, insumos equivocados en la línea de producción, etc.

El estudio estadístico arrojó que estos atrasos tienen una función de distribución gamma con α = 0,95781 (shape) y β = 3,84010 (scale), con probabilidad 1 de ocurrencia.

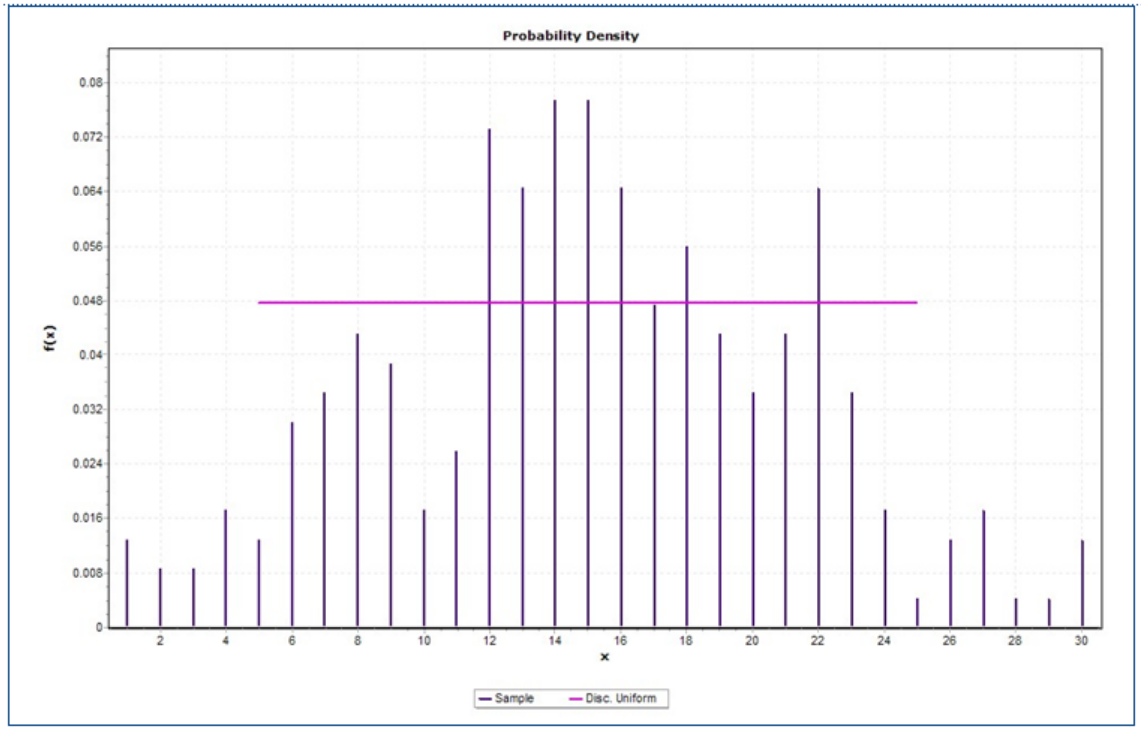
Figura 4.9: Distribución de atrasos por pedido en la etapa de producción. El eje horizontal muestra los minutos de atraso, y el vertical, la probabilidad de ocurrencia.



La figura 4.9 muestra la distribución de estos tiempos, siendo evidente que existe una alta probabilidad de que la duración de los atrasos sea menor a 20 minutos por pedido, aún cuando se han registrado casos donde puede ser mayor a 280 minutos.

También nos interesa determinar el número de pedidos diarios para la línea 7 durante el 2007. Este número corresponde a una función de distribución uniforme con a = 5 y b = 25.

Figura 4.10: Distribución de pedidos diarios



Finalmente, es necesario determinar el porcentaje de pedidos que tienen insumos pendientes al momento de entrar al sistema. Para el año 2007, en la línea 7 cerca del 10% de los pedidos presentaron problemas de este tipo, a la fecha que se hace la programación. La llegada de estos insumos pendientes a las instalaciones de la empresa sigue una distribución normal con media 14,179 días y desviación estándar 3,1667 días. La metodología utilizada para estos pedidos corresponde a ubicarlos en una cola alternativa hasta el momento en que llegan los insumos necesarios. En ese momento, pasan a competir con los pedidos normales, aunque obviamente con una prioridad mucho más alta debido a que cuentan con una fecha objetivo (de vencimiento) más pronta.

Interesa hacerlo de esta manera para cumplir con el objetivo de minimizar la necesidad de reprogramación, mitigando sus efectos. De esta forma, se acota el poder de manipulación y decisión que puedan tener los operarios en las líneas de producción, pues ellos no tienen la suficiente información para decidir y planificar.

4.5 Modelos de Simulación

Podemos contemplar las ventajas de utilizar un modelo de simulación bajo los siguientes argumentos. En la realidad diaria de las plantas manufactureras, nos encontramos que en la práctica no es posible realizar experimentos para probar el efecto que tiene tomar una u otra alternativa de producción, dado los montos económicos que involucra tal proceso. Por lo tanto, la alternativa de la simulación

aparece como válida y muy barata para determinar la efectividad de las políticas de producción determinadas por la empresa.

Dentro de este estudio, el desarrollo de los modelos necesarios para efectuar los experimentos se realizó utilizando el software de simulación Extend v6. La elección se basó en la robustez y completitud del software al incorporar varias distribuciones de probabilidad y bloques que facilitan la programación del modelo respectivo.

Debemos enfatizar que antes de planificar, y antes de utilizar el algoritmo, el personal de Concha y Toro debe cerciorarse de que los inventarios de productos solicitados no poseen la cantidad requerida. Recordemos, además, que el personal encargado debe tomar decisiones de planificación en tiempo real, por lo que la simulación a utilizar debe consumir un tiempo relativamente bajo.

El número de corridas fue determinado mediante el método del Anexo A, el cual arrojó que el número idóneo es de 30 corridas del modelo. La medida de desempeño deseada corresponde a la media de estas 30 estimaciones.

Por otra parte, la calibración de los parámetros del modelo, fue hecha mediante un análisis de distribuciones del 70% de los registros históricos del período 2005-2007, dejando el 30% restante para la comprobación de los mismos. Para esa comprobación, se generaron datos correspondientes a esos parámetros y se comprobó que siguieran la misma distribución del 30% dejado para la comprobación.

Los resultados obtenidos fueron guardados en planillas MS Excel con el objeto de analizarlos posteriormente.

4.5.1 Modelo para el Caso Base

Este modelo apunta a representar la estrategia que está utilizando hoy en día Concha y Toro en su proceso de planificación. Se incorporan las principales políticas y tiempos involucrados en cada una de las actividades, basados en registros históricos en el período 2005-2007. Por ejemplo, el hecho de que cada dos semanas se produce una mantención preventiva de 9 horas a las líneas de producción.

La dinámica general de este modelo es la siguiente:

Se generan las órdenes de fabricación con los atributos determinados en el punto 4.4.3:

Cantidad

Due time

Nº de órdenes diarias

Si tiene o no insumos pendientes

Tipo de producto solicitado (blanco, tinto o Premium)

En caso de tener insumos pendientes, se genera la demora en tiempo correspondiente a los días que tardaría en llegar el insumo faltante, y la orden se deja dentro de una cola hasta que se cumpla este tiempo.

Se determina la prioridad de cada orden mediante la regla de prioridad "Earliest due time", la cual asigna un orden prioritario a aquellos pedidos con fecha de vencimiento más temprana.

Esta prioridad es dinámica, puesto que se actualiza día tras día para no tener problemas de starving de órdenes (que no salgan nunca del sistema).

Una vez creados los atributos correspondientes, y asignada la prioridad, la orden va a una cola donde espera su turno. Al momento de procesarse, se hacen los cálculos de cuánto tiempo toma realmente este paso por la línea, considerando los ruidos, el CIP y el tiempo de producción real.

Finalmente se recogen todos los datos y se hacen pasar a una planilla Excel.

4.5.2 Modelo de la Heurística propuesta

Este modelo apunta a representar la estrategia que se quiere proponer. El modelo de simulación es similar al caso base en cuanto a la estructura de colas que se manejan, aunque tiene incorporada la estrategia que se discutió en el punto 3, basada en mejoras a las reglas de prioridad y criterios que se utilizan para efectuar la planificación. Como se explicó anteriormente, la heurística propuesta hace uso de la información histórica de Concha y Toro, determinando las actividades que hacen un uso mayor del tiempo y tratando de minimizarlas. A la vez, se trata de incorporar dentro de la planificación todos los tiempos involucrados en la producción, con el objeto de generar una programación mucho más robusta y flexible. También se incorporan las principales políticas y tiempos involucrados en cada una de las actividades, basados en registros históricos en el período 2005-2007.

La dinámica general de este modelo es la siguiente:

Se generan las órdenes de fabricación siguiendo la distribución uniforme descrita (explicada anteriormente)

Se generan los atributos de cada orden:

Cantidad

Due time

Nº de órdenes diarias

Si tiene o no insumos pendientes

Tipo de producto solicitado (blanco, tinto o Premium)

En caso de tener insumos pendientes, se genera la demora en tiempo correspondiente a los días que tardaría en llegar el insumo faltante, y la orden se deja dentro de una cola hasta que se cumpla este tiempo.

Se generan tiempos de producción, setup, CIP, y ruidos diversos siguiendo las distribuciones históricas de Concha y Toro tratando de predecir la duración real que tendrán una vez puestos los pedidos en la línea de producción. Se determina la prioridad de cada orden mediante la heurística propuesta, generando una configuración que minimice estos tiempos, respetando también las fechas de vencimiento (due time).

Esta prioridad es dinámica, puesto que se actualiza día tras día para no tener problemas de starving de órdenes y también después de cada pedido producido, puesto que interesa saber las características de la orden anterior para poder saber qué orden debe ser la sucesora.

Una vez creados los atributos correspondientes, y asignada la prioridad, la orden va a una cola donde espera su turno. Al momento de procesarse, se hacen los cálculos de cuánto tiempo toma realmente este paso por la línea, considerando los ruidos, el CIP y el tiempo de producción real.

Finalmente se recogen todos los datos y se hacen pasar a una planilla Excel.

Cabe mencionar que ambos modelos son corridos para 50 días, con el objeto de conocer cómo van variando las métricas que se piensan utilizar. Además, se incorpora dentro de los modelos una demora inicial de una semana, con el objeto de llegar al transiente pasado este tiempo.

4.5.3 Modelos de PR para benchmarking

Los modelos utilizados para efectos de benchmarking, son dos estrategias de PR ya descritas anteriormente:

1. SPT (Shortest Process Time): Se realiza primero el trabajo que tiene menor tiempo de proceso.

2. LPT (Longest Process Time): Se realiza primero el trabajo que tiene mayor tiempo de proceso.

Los modelos de simulación hechos para estas reglas de prioridad están estructurados bajo las mismas condiciones de trabajo que los otros dos modelos, para efectos de uniformizar todas las variables y de validar las comparaciones efectuadas mediante las métricas. Además, para estos dos modelos se agregaron metodologías simples con el objeto de evitar el starving de órdenes dentro del sistema.

Cabe mencionar que para efectuar el análisis del sistema de producción de Concha y Toro, debemos considerar las métricas que fueron descritas anteriormente, con el objeto de efectuar el benchmarking entre el proceso actual y el propuesto.

Las medidas de desempeño que se utilizan en este trabajo, son las mencionadas: tasa de producción, tiempos de setup, tasa de utilización de la línea, litros envasados por hora, tiempo promedio de espera en la cola, tiempo promedio dentro del sistema, número de órdenes entregadas dentro del plazo (porcentaje). También se evaluarán aspectos económicos relacionados con las diferencias entre ambos tipos de procesos.

El análisis será hecho para la programación en forma diaria, a medida que los pedidos van llegando (en forma instantánea). Los pedidos se irán secuenciando dependiendo de la prioridad que le asigne la heurística a medida que vayan llegando.

El modelo corre por sí sólo, simulando el ambiente de producción de la línea 7 de la planta de Pirque de Concha y Toro. No existen variables de inicio a ser determinadas a priori, salvo los parámetros de la heurística.

4.6 Resultados y Análisis

Todos estos experimentos fueron desarrollados bajo las mismas condiciones operativas descritas anteriormente, como velocidad de línea, número de pedidos diarios, cantidades en cada orden, mantenciones preventivas, tiempo de estudio, etc. Cada uno de los resultados obtenidos en las métricas corresponde a la media del estimador obtenido de 30 corridas de cada modelo. Por último, el período de estudio fue de 50 días.

Los resultados obtenidos para cada métrica y cada experimento se muestran en la tabla 4.8:

Tabla 4.8: Resultados obtenidos para cada métrica y experimento

Métrica	Caso Base	SPT	LPT	Heurística Propuesta
Tasa producción [litros/hora]	2286,47	2322,4	2212,7	2876
Tiempo setup promedio [minutos]	26,41	25,4	27,6	15,7
Tasa utilización [%]	53%	54,7%	52,6%	77%
Tiempo promedio dentro del sistema [días]	11,1	10,8	11,4	2,8
Nº órdenes procesadas	650	654	643	846
Órdenes a tiempo [%]	77%	81%	75%	93%

Nos encontramos que en general, el rendimiento de las estrategias estudiadas de menor a mayor es el siguiente: LPT, Caso Base, SPT y la heurística propuesta en este estudio.

Las diferencias porcentuales vienen dadas en la tabla 4.9.

Tabla 4.9: Diferencias porcentuales entre estrategias estudiadas y Caso Base

	Diferencias porcentuales contra caso base		
Métrica	SPT	LPT	Heurística Propuesta
Tasa producción	1,57%	-3,23%	25,78%
Tiempo setup promedio	-3,82%	4,51%	-40,55%
Tasa utilización	3,21%	-0,75%	45,28%
Tiempo promedio dentro del sistema	-2,70%	2,70%	-74,77%
Nº órdenes procesadas	0,62%	-1,08%	30,15%
Órdenes a tiempo	5,19%	-2,60%	20,78%

Realizando un análisis para cada métrica, tenemos lo siguiente:

Tasa Producción: Contrastados con el Caso Base, la estrategia SPT presenta un comportamiento muy similar, con una diferencia cercana al 1,6%. LPT presenta una diferencia levemente negativa, pudiendo argumentarse que ambos casos presentan escasa diferencia con el Caso Base. La gran diferencia se presenta con la heurística compuesta que se propone en este estudio, con un aumento de casi el 26% en la productividad de la línea, con respecto al Caso Base. Resulta importante el hecho de que la tasa de productividad de las líneas de la empresa sea levemente superior al 50% (recordemos que la velocidad nominal de la línea 7 es de 4000 botellas/hora), pudiendo esta ser mejorada gracias a un cambio de políticas.

Tiempo de Setup Promedio: Las dos estrategias, SPT y LPT presentan un comportamiento parecido al Caso Base, SPT muestra un tiempo levemente menor de setup, mientras que LPT es levemente superior, con un 4,5% más de setup. Para efectos de este estudio, estas diferencias serán consideradas marginales. Con respecto a la heurística propuesta, existe un cambio muy notorio en los tiempos, con un 40,5% menos de setup en promedio para cada orden, con respecto al Caso Base.

Tasa de Utilización: Nuevamente las estrategias SPT y LPT muestran comportamientos alineados al Caso Base. La diferencia se presenta con la heurística estudiada, con un 45% más de utilización de la línea. Esto viene dado lógicamente por la menor cantidad de setup en que se incurre.

Tiempo promedio dentro del sistema: Al igual que los casos anteriores, las estrategias SPT y LPT se mantienen similares al Caso Base. La heurística propuesta presenta una mejora cercana al 75%, lo que representa una disminución desde 11,1 días hasta 2,8 días en promedio por orden.

Número de órdenes procesadas: La gran diferencia es marcada nuevamente por la heurística propuesta, con un aumento en un 30% en el número de pedidos cumplidos. Esto es consistente con el aumento en la productividad de las líneas.

Finalmente, uno de los objetivos definidos al inicio de este estudio fue enteramente satisfecho, dado que el número de órdenes producidas a tiempo aumentó desde un 77% a un 93%. Varias de estas órdenes corresponden a pedidos que ingresan al sistema con insumos pendientes, por lo que al aumentar la capacidad productiva, se mejora también la capacidad de reacción de la empresa frente a hechos de última hora.

Vemos que para las métricas estudiadas, en general, el comportamiento de las estrategias de prueba (SPT y LPT) está muy alineado con el Caso Base que representa la política actual de trabajo en Concha y Toro. Muy diferente es el caso de la heurística propuesta, la cual tiene un rendimiento muy por sobre el conseguido por el Caso Base en cada una de las métricas estudiadas.

4.6.1 Análisis Económico

En cuanto a resultados económicos, podemos realizar el siguiente análisis.

Observando el aumento obtenido en la tasa de productividad pasando desde el Caso Base hasta la heurística propuesta, podemos inferir lo siguiente:

Tasa Producción Heurística Propuesta - Tasa Producción Caso Base =

2876 litros/hora - 2286,47 litros/hora = 589,53 litros/hora

Vemos que el aumento de productividad se traduce en 589,53 litros/hora.

Si pensamos que en un día de producción de la línea 7, en el Caso Base podemos producir hasta 54875,28 litros (considerando una tasa de producción de 2286,47 litros/hora), con el cambio de estrategia propuesto, y dado el aumento en la tasa de productividad obtenido, podemos producir lo mismo en 19 horas. Dado esto, la empresa puede elegir entre producir sólo en estas 19 horas, o mantenerse produciendo las 24 horas.

Si se elige producir sólo 19 horas diarias, podemos realizar la siguiente estimación. El costo fijo correspondiente a mantener funcionando una línea de producción (en particular la línea 7), excluyendo los insumos es de $156.000/hora[5].

Esto significa un ahorro diario de:

5 horas * $156.000 = $780.000 diarios

Este valor está calculado solamente para la línea 7.

Por otra parte, si se elige producir las 24 horas del día, tenemos que la cantidad extra producida asciende a:

589,53 litros/hora * 5 horas = 2947,65 litros

Estimando que el valor de venta de una caja de vino de 9 litros es aproximadamente US$50 en promedio[6], vemos que la cantidad extra asciende a 327,5 cajas diarias en promedio.

Si multiplicamos por su valor, tenemos que:

327,5 cajas * US$50/caja = US$16375.-

o en pesos chilenos[7]: $7.991.000.- diarios

929292

[5] Fuente: Encargado de línea, Concha y Toro.

[6] Fuente: Entrevista a Concha y Toro, FocusWine, http://www.focuswine.cl/index.php?option=com_content&task=view&id=518&Itemid=118

[7] $488 corresponde al valor del dólar al día de realizado el cálculo.

Considerando un conservador margen del 30% por caja, tenemos que el beneficio diario asciende a $2.397.300.- diarios.

Por esta razón, concluimos que la empresa debiera mantenerse produciendo las 24 horas del día.

Podemos considerar, además, que existe un beneficio adicional difícilmente cuantificable de mantener una buena calidad de servicio al cliente, al aumentar la tasa de pedidos que son cumplidos dentro de la fecha prevista. Por la misma razón, también disminuyen los costos asociados al transporte aéreo, cuando existen pedidos muy atrasados.

4.6.2 Conclusiones parciales

Al analizar los resultados obtenidos mediante el modelo de simulación del caso de estudio de la empresa Concha y Toro, podemos observar que la estrategia propuesta consistente en una heurística de ordenamiento de pedidos y posterior inclusión de tiempos muertos dentro de la planificación creada inicialmente, mejora considerablemente los resultados que se obtienen en el Caso Base que representa la política de producción de la empresa hoy en día, existiendo una mejora sustancial en todas las métricas utilizadas. Gracias a ello en el caso de estudio, la empresa:

Aumenta en promedio casi un 26% su capacidad productiva. Lo interesante es que no se necesita invertir en nuevas maquinarias, sino que solamente esto proviene del cambio en las estrategias productivas.

Es posible balancear de mejor manera las líneas de producción, con el objeto de obtener mejores eficiencias en cada una de ellas. Esto gracias a que se conoce una cota de producción más alta para cada una de ellas.

Minimizando el cambio de formatos para cada una de las máquinas en las líneas, bajamos la tasa de fallas debido a la manipulación en los mecanismos.

Al disminuir el tiempo dentro del sistema para cada una de las órdenes cerca de un 75%, mantenemos una menor cantidad de WIP (work in process) y de dinero involucrado dentro de los procesos.

Por la misma razón, existe una disminución en los tiempos de respuesta para los clientes, además de que podemos predecir, en primera instancia, de una manera mucho más precisa la fecha de entrega.

Es posible disminuir aún más los tiempos de respuesta si ocupamos esta recientemente descubierta capacidad ociosa de las líneas produciendo inventario intermedio genérico (vino embotellado y encorchado, sin etiqueta), con el objeto de sólo incurrir en etiquetado.

En términos económicos, vemos que existe un monto de $2.397.300 diarios correspondientes a la producción extra que es posible alcanzar mediante el cambio de políticas, desde el Caso Base hacia la heurística propuesta.

Al incurrir en una tasa de cumplimiento más alta, disminuimos los costos asociados a demoras en los envíos. En el caso de Concha y Toro, se evitaría recurrir al transporte aéreo para efectuar los despachos atrasados.

Se cumple plenamente el objetivo de aumentar la cantidad de órdenes satisfechas dentro de la fecha. Existe un aumento desde un 77% a un 93%, sin realizar nuevas inversiones.

Al cumplirse el objetivo de mejorar la tasa de órdenes satisfechas (cumplidas en el tiempo respectivo), se evidencia una mejora en la capacidad de reacción de la empresa frente a hechos de última hora. Esto viene dado gracias al descubrimiento de capacidad ociosa de las líneas, la cual amortigua eventos como los pedidos con insumos pendientes, los cuales constituyen una sobrecarga por la alta prioridad y bajo tiempo de vida restante con que entran al sistema de producción de la empresa.

5. CONCLUSIONES GENERALES

Como se dijo anteriormente, este método es indicado para sistemas productivos donde aparezcan eventos inciertos, de duración indeterminada. Además, esta estrategia es capaz de aprovechar la presencia de tiempos de setup y de limpieza, determinando y considerando las configuraciones donde se minimiza la aparición de estos. Como este estudio hace uso intensivo de los recursos de información histórica, es necesario que la empresa cuente con estos registros.

Una vez determinados los resultados de las simulaciones realizadas, puede apreciarse que esta política propuesta mantiene un rendimiento marcadamente superior al entregado por varias reglas de prioridad simple, sin desprenderse de la relativa facilidad de cálculo y bajo consumo de tiempo computacional que tienen aquellas. Esto es muy importante, dado que muchas de las decisiones deben tomarse en tiempo real.

En cuanto a limitaciones, la estrategia propuesta es aplicable solamente si es que el sistema donde se quiere experimentar cuenta con un número estadísticamente suficiente de datos históricos, puesto que es necesario conocer a priori las distribuciones correspondientes a las apariciones y extensiones en tiempo de cada uno de los sucesos inciertos que van ocurriendo durante la etapa productiva. Esto puede, de alguna manera, ser subsanado con el criterio experto de personas ligadas al ambiente operativo, lo cual puede ir calibrándose a medida que se van realizando más experimentos.

Considerando el objetivo presentado en primera instancia, mejorar la tasa de respuesta hacia los clientes, se aprecia que efectivamente existe una disminución considerable en los tiempos de respuesta, pudiendo efectuarse además, una predicción mucho más precisa de la fecha definitiva de entrega.

En definitiva, vemos que lo que se aporta es una extensión a las reglas de prioridad anteriores, combinándose a una heurística de inserción de tiempos muertos.

BIBLIOGRAFIA

Abumaizar, R. y Svestka, J. (1997). Rescheduling job shops under disruptions. *International Journal of Production Research*, 35, 2065-2082.

Angel, E., Bampis, E., Pascual, F. (2007). How good are SPT schedules for fair optimality criteria. *Ann Oper Res* (2008) 159: 53–64.

Arcos, David (2004). Simulación de los Procesos de Envasado y Etiquetado en una Planta Embotelladora de Vino. Tesis de Magíster, Departamento de Ingeniería Industrial y de Sistemas, Pontificia Universidad Católica de Chile.

Bartholdi, John y L. K. Platzman (1988). Heuristic Based on Spacefilling Curves for Combinatorial Problems in Euclidean Space, *Management Science 34*, pp. 291305, 1988.

Companys, Ramón y D'Armas, Mayra (2005). Programación de Operaciones con Tiempos de Preparación Mediante Algoritmos de Optimización Local. *UCT vol.9 no.35 PuertoOrdaz Sept. 2005,http://www2.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-48212005000300007&lng=en&nrm=iso*

Duenas, A. y Petrovic, D. (2007). An approach to predictive-reactive scheduling of parallel machines subject to disruptions. *Ann Oper Res* (2008) 159: 65–82.

Extend (2002) Version 6 User's Guide. Imagine That Inc.

Gao, H., 1995. Building robust schedules using temporal protection—an empirical study of constraint based scheduling under machine failure uncertainty. *Master's Thesis*. Department of Industrial Engineering, University of Toronto.

Goldratt, Eliyahu (1997). Cadena Crítica. Una novela empresarial sobre la Gestión de Proyectos. Ediciones Díaz de Santos, http://www.diazdesantos.es Madrid 2001, pp. 296. Tit.Orig: Critical Chain, North River Press.

Ghosh, S., 1996. Guaranteeing fault tolerance through scheduling in real-time systems. *Ph.D. thesis. University of Pittsburgh*.

Hall, N., Posner, M., 2000. Sensitivity analysis for efficiently solvable scheduling problems, Research paper. *The Ohio State University*.

Hapke, Maciej y Słowiński, Roman (1996). Fuzzy priority heuristics for project scheduling. *Fuzzy Sets and Systems*, Volume 83, Issue 3 (November 1996) Pages: 291 – 299.

Herroelen, W. y Leus, R. (2004). Project scheduling under uncertainty: Survey and research potentials. *European Journal of Operational Research* 165 (2005) 289–306.

Jensen, M. (2003). Generating Robust and Flexible Job Shop Schedules Using Genetic Algorithms. *IEEE Transactions On Evolutionary Computation*, Vol. 7, No. 3, June 2003.

Jozefowska, J. y Zimniak. A. (2006). Optimization tool for short-term production planning and scheduling. *Int. J. Production Economics* 112 (2008) 109–120.

Kawai, T. y Fujimoto, Y. (2005). An efficient combination of dispatch rules for job-shop scheduling problem. *2005 IEE Internacional Conference on Industrial Informatics* (INDIN).

Kilic, M., Ulusoy, G. y Sivrikaya, F. (2006). A bi-objective genetic algorithm approach to risk mitigation in project scheduling. *Int. J. Production Economics* 112 (2008) 202–216.

Lin, B., Lu, C., Shyu, S. y Tsai, C. (2007). Development of new features of ant colony optimization for flowshop scheduling. *Int. J. Production Economics* 112 (2008) 742–755.

Mckay, K. et al (2002). Practice-Focused Research Issues for Scheduling Systems. *Production and Operations Management*, Vol. 11, Nº 2, Summer 2002.

Metha, S. y Uszoy, R. (1998). Predictable Scheduling of a Job Schop Subject to Breakdowns. *IEE Transactions on robotics and automation,* Vol. 14, No. 3.

Mehta, S.V., Uzsoy, R., 1999. Predictive scheduling of a single machine subject to breakdowns. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing* 12 (1), 15–38.

Miller D y Schmidt J. Ingeniería Industrial e Investigación de Operaciones. *México: Editorial Limusa*. 1992. p. 245-264.

Noronha, S. y Sarma, V. (1991). Knowledge-based approaches for scheduling problems: a survey. *IEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 3(2), 160-171.

O'Donovan, R., Uszoy, R. y Mckay, K. (1999). Predictable scheduling of a single machine with breakdowns and sensitive jobs. *International Journal of Production Research*, 1999, vol. 37, No. 18, 4217-4233.

Ozdamar, L., Alanya, E., 2000. Uncertainty modelling in software development projects (with case study). *Annals of Operations Research* 102, 157–178.

Panwalkar, S. e Iskander, W. (1977). A Survey of Scheduling Rules. *Operations Research*, Vol. 25, No. 1.

Pfund, M., Fowler, J., y Gupta, J. (2004). A survey of algorithms for single and multi-objective unrelated parallel-machine deterministic scheduling problems. *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers*, 21(3), 230-241.

Platzman, L. y Bartholdi, J. (1988). Spacefilling curves and the planar travelling salesman problem. *Journal of the ACM*, Volume 36 , Issue 4.

Sabuncuoglu, I. y Bayiz, M. 2000. Analysis of reactive scheduling problems in a job shop environment. *European Journal of Operational Research*, 126(3): 567-586.

Szelke, Elizabeth y Kerr, Roger (1993). Knowledge-Based Reactive Scheduling, *Proceedings of the IFIP TC5/WG5.7 International Workshop on Knowledge-Based Reactive Scheduling*, Athens, Greec, 1 October, 1993.

Van Laarhoven, P., Aarts, E. Y Lenstra, Jan. (1992). Job Shop Scheduling by Simulated Annealing. *Operations Research*, Vol. 40, Nº 1, 1992

Van den broecke, F., et al. (2008). Implementing a near-optimal solution for the multistage, multi-product capacitated lot-sizing problem by rolling out a cyclical production plan. *Int. J. Production Economics 112 (2008) 121–137.*

Vieira, et al (2000). Predicting the performance of rescheduling strategies for parallel machine systems. Journal of Manufacturing Systems, Volume 19, Number 4, pages 256-266, 2000.

Vieira, G.E, Herrmann, J.W. y Lin, E. (2003). Rescheduling manufacturing systems: a framework of strategies, policies and methods. *Journal of Scheduling*, 6(1), 39-62.

A N E X O S

Anexo A: Número de corridas de la Simulación

Una de las decisiones más importantes a efectuar en todo modelo de simulación, es el número de corridas a efectuar, con el objeto de asegurar que la variación de la estimación de la medida de desempeño a evaluar sea aceptable.

Para ello se escogió el método siguiente para determinar el número de corridas que deben efectuarse en el modelo[8].

Elegir un valor aceptable de "d" para la desviación estándar del estimador.

Generar al menos 30 estimaciones.

Continuar generando más datos, hasta detenerse cuando se hayan generado k valores y $\frac{S}{\sqrt{k}} < d$, donde S es la desviación estándar muestral basada en los k valores.

La estimación de la medida de desempeño a evaluar está dada por el promedio de todas las muestras, es decir, por $X = \sum_{i=1}^{K} \frac{X_i}{k}$

ANEXO B: DISTRIBUCIONES Y VALORES UTILIZADOS EN EL MODELO DE SIMULACIÓN

Para alimentar el modelo de simulación, se utilizaron las siguientes distribuciones:

Due time (d_i)

Tiempo de vencimiento de la orden según el tipo de cliente: A, B o C, que pueden solicitar productos a 21, 30 y 35 días, respectivamente.

%	Categoría	Días
16,3	A	21
51,6	B	30
32,1	C	35

Product Time (p_i)

Tiempo de producción de la orden. Depende del tamaño de la orden y de la velocidad de la línea. La velocidad de la línea es de 4000 botellas de 750 cc. por hora. La distribución de los tamaños de las órdenes corresponde a una log-normal con parámetros μ = 7,4239 litros y σ = 1,1575 litros.

929292

[8] Recomendado en [ROSS1999] y comentado en [ARCOS2004]

Parámetro α

Según los estudios realizados por investigadores (Companys y D'Armas, 2005) y las calibraciones hechas en las simulaciones en este trabajo, lo más adecuado es mantener un $\alpha = 0,2$.

Setup Time ST_i

Dividido en dos partes: Preparación y CIP:

Preparación: Corresponde a cambios de formato de botellas, de etiquetas, de corchos, de cápsulas, de cajas, etc. Estadísticamente, se encontró que estos tiempos corresponden a una función de distribución Weibull, con $\alpha = 1,2682$ y $\beta = 19,4$.

CIP: Limpieza efectuada a las maquinarias de la línea de producción cada vez que se produce un ítem de mayor calidad (vinos Premium) después de haber producido uno inferior, o cada vez que se produce un blanco después de un tinto. La distribución observada para el CIP corresponde a una función Johnson SB con parámetros $\gamma = 4,5049$, $\delta = 2,9496$, $\lambda = 791,65$, $\xi = -74,152$.

Tipo de producto solicitado

Probabilidad de aparición de una orden de vino (tinto, blanco o Premium) para la línea 7

	Total linea 7 2007	
	cantidad	%
tinto	1602	48,53
blanco	892	27,02
premium	807	24,45
total	3301	100

Atrasos

Para alimentar la ecuación $C_i = ST_i + A + p_i$, nos queda analizar los atrasos (A) que pudieran existir una vez que el pedido ya se está produciendo. El estudio estadístico arrojó que estos atrasos tienen una función de distribución gamma con $\alpha = 0,95781$ (shape) y $\beta = 3,84010$ (scale), con probabilidad 1 de ocurrencia.

Pedidos con Insumos Pendientes

Para el año 2007, en la línea 7 cerca del 10% de los pedidos presentaron problemas de este tipo, a la fecha que se hace la programación. La llegada de estos insumos pendientes a las instalaciones de la empresa sigue una distribución normal con media 14,179 días y desviación estándar 3,1667 días.

Llegada de órdenes

Número de pedidos diarios para la línea 7 durante el 2007. Este número corresponde a una función de distribución uniforme con a = 5 y b = 25.

Anexo C: REPRESENTACIÓN DE SECCIONES MÁS IMPORTANTES DEL MODELO DE Simulación DE LA ESTRATEGIA EN EXTEND

Figura C-1: Inicialización de entidades y variables.

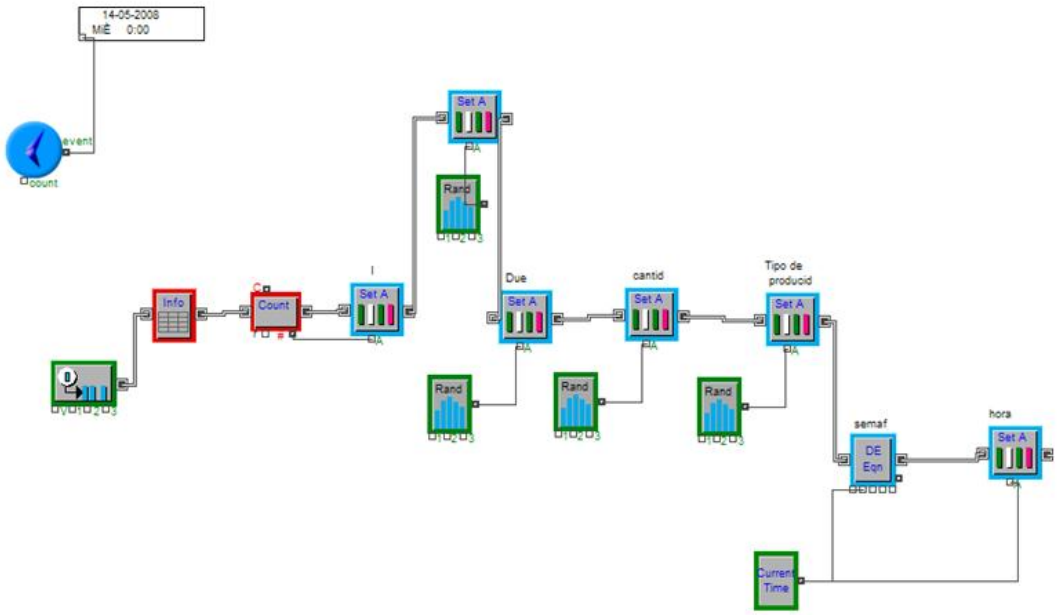


Figura C-2: Actualización de prioridad de los trabajos según pasan los días y cambia el estado de la línea de producción

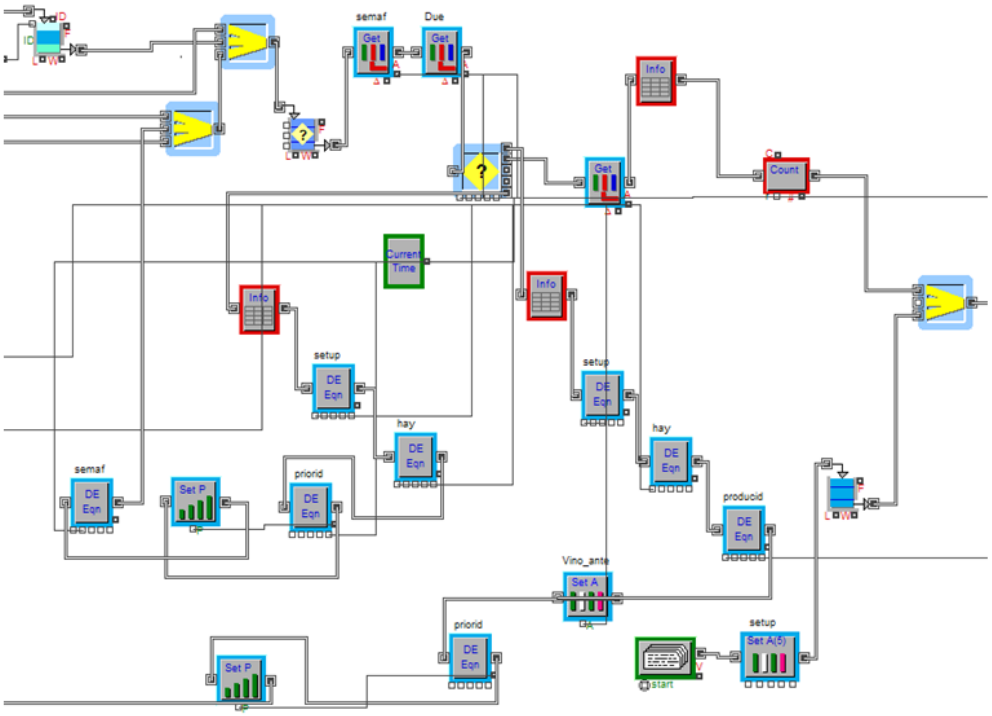
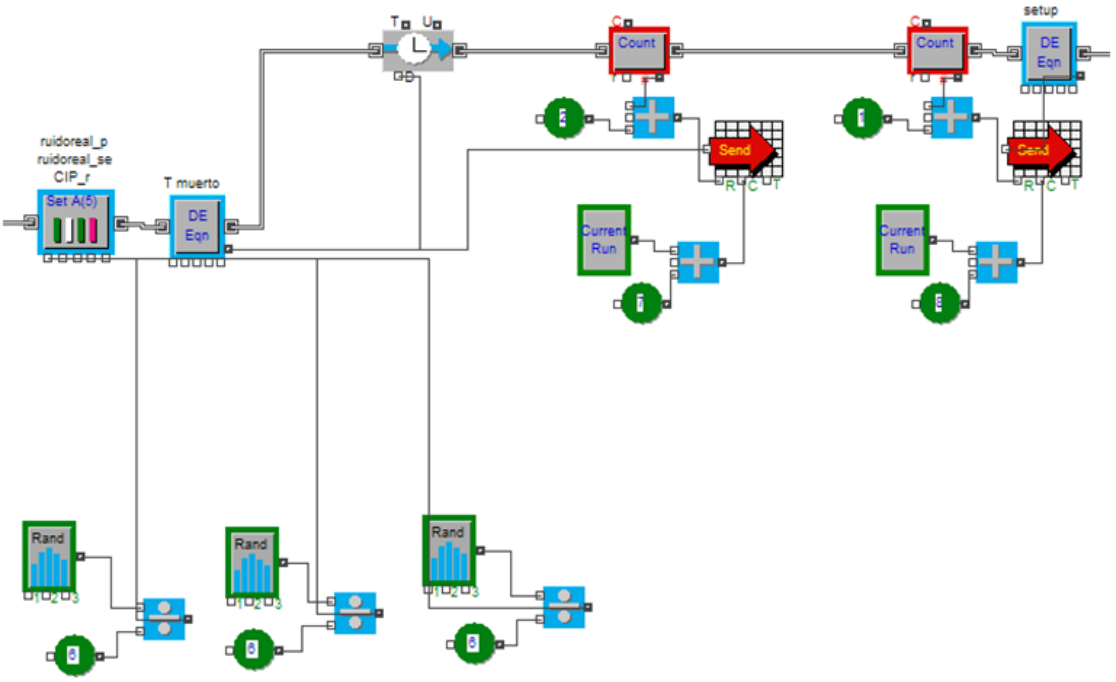


Figura C-3: Inicialización de tiempos aleatorios de la Línea de Producción (atrasos, ruidos, tiempos muertos), representación de la Línea de Producción y recopilación de algunas estadísticas.



Anexo D: VALORES ARROJADOS POR EL MODELO DE SIMULACIÓN

Resultados arrojados por la estrategia propuesta para una corrida con duración de 50 días.

Los primeros 14 días fueron quitados para efectos de sólo considerar el período posterior al transiente. Cada 14 días se produce una mantención de 9 horas, lo que aparece señalado como cero en las dos últimas columnas. Obsérvese la diferencia, para cada trabajo, de las dos últimas columnas, que representa el tiempo predicho y el real.

Tabla D-1: Valores arrojados por el modelo para la estrategia propuesta

Entidad	hora llegada (días)	hora salida (días)	Tamaño orden (litros)	T en sistema (días)	T total producción real (horas)	T total pronosticado (horas)
204	13,9583333	14,10778179	3181,734462	0,14944846	2,902789838	2,210902939
205	0	14,10778179	54000	14,10778179	0	0
206	13,625	14,13996198	1109,56235	0,514961981	0,77232449	0,759008028
207	14,0833333	14,15948265	650,5018202	0,076149317	0,468496071	0,428999291
208	13,75	14,19863863	1222,848916	0,448638632	0,939743564	1,233675607
209	13,9166667	14,28557392	5249,531818	0,368907252	2,086446883	3,052007672
210	13,5416667	14,34827102	5036,289055	0,806604357	1,504730505	1,847737195
211	14,2083333	14,38003008	2168,193089	0,171696742	0,762217257	0,804636703
212	14,2916667	14,39394586	694,252231	0,102279198	0,333978944	0,31756502
213	13,8333333	14,49228073	6847,932601	0,658947394	2,360036709	3,361724685
214	9,08333333	14,51323055	26,51223213	5,429897219	0,502795797	0,158949807
215	14,4166667	14,57694318	4501,057617	0,160276518	1,529103159	2,258571834
216	2,625	14,59436216	707,9932871	11,96936216	0,418055493	0,243014622
217	14,5416667	14,71454266	1915,964901	0,172875995	2,884331956	1,715683752

217	14,5416667	14,71454266	1915,964901	0,172875995	2,884331956	1,715683752
218	14,5833333	14,74841001	1031,466039	0,16507668	0,812816458	0,678617788
219	14,6666667	14,76261989	502,5449351	0,095953225	0,341037063	0,492358558
220	14,625	14,82432664	1561,784298	0,199326639	1,480961933	2,1656566
221	14,75	14,88829511	2670,656901	0,138295112	1,535243351	1,413773514
222	14,7916667	14,91914118	2176,920621	0,127474512	0,74030561	0,980556031
223	14,875	14,94167174	364,4859576	0,066671741	0,540733498	0,526806441
224	14,9166667	15,00821975	4685,107255	0,091553082	1,597152181	1,319613076
225	14,8333333	15,0561365	1537,568473	0,222803171	1,150002143	1,371048902
226	15	15,10169411	2756,05893	0,101694114	1,093382632	1,0401829
227	15,0416667	15,15917379	4602,33447	0,117507125	1,379512258	1,762941749
228	11,4166667	15,20164944	237,3572277	3,784982772	1,019415518	0,219187449
229	15,125	15,22357956	952,8862747	0,098579558	0,526322864	0,471099549
230	15,1666667	15,30119464	1282,679011	0,134527975	1,862762011	3,507644605
231	15,2083333	15,35220562	855,0773588	0,143872286	1,224263477	0,403473608
232	15,2916667	15,40023238	793,4333753	0,108565708	1,152642132	0,971033809

233	15,3333333	15,41154045	493,9359195	0,078207117	0,271393813	0,497317281
234	15,25	15,45936762	1418,853121	0,209367621	1,147852089	1,639406121
235	7	15,46511351	232,7269684	8,465113512	0,137901384	0,263558988
236	15,4166667	15,48308208	1276,136423	0,066415409	0,431245523	0,791906073
237	10,8333333	15,5300509	1380,06855	4,696717569	1,127251848	0,364082115
238	8,91666667	15,54201343	394,0371019	6,625346759	0,287100551	0,286402291
239	15,5	15,59697487	838,5632238	0,096974873	1,319074736	1,225469377
240	5,75	15,62068053	270,8519934	9,870680532	0,568935823	0,293945375
241	12,375	15,64009012	588,9792164	3,265090121	0,465830139	0,33365209
242	1,91666667	15,65336544	912,7160559	13,73669877	0,318607598	0,365415009
243	7,66666667	15,6621845	381,8876341	7,995517832	0,211657455	0,321609395
244	10,1666667	15,67959648	1304,033139	5,51292981	0,417887469	0,404639567
245	8,29166667	15,71166263	1658,420098	7,419995965	0,769587725	0,465940299
246	15,6666667	15,85270424	2645,173349	0,186037574	3,38499861	4,474872372
247	15,7083333	15,86824687	1007,465522	0,159913533	0,373023034	1,400454902
248	15,75	15,8992284	947,3110499	0,149228403	0,743556884	0,823625962

249	13,6666667	15,93889454	666,5894455	2,272227874	0,951987283	0,384900334
250	15,875	16,00382914	206,6700851	0,128829141	1,558430415	2,079116165
251	15,8333333	16,07341985	1837,068752	0,240086518	1,670177054	0,494672197
252	3,625	16,09586115	1509,202132	12,47086115	0,538591051	0,472098535
253	7,70833333	16,13828678	2072,939709	8,429953442	1,018215121	1,677914679
254	16,0416667	16,25904327	9330,589217	0,217376608	2,898155988	2,820688774
255	2,45833333	16,29514007	1514,184937	13,83680674	0,866323165	0,521373719
256	16,1666667	16,32770792	714,3174102	0,161041251	0,781628266	0,337728384
257	16,2083333	16,38248504	3842,210663	0,174151709	1,314650985	2,07055173
258	9,29166667	16,41139	1332,721763	7,119723333	0,69371897	0,515259386
259	16,375	16,44262616	1260,339064	0,067626156	0,749667763	0,885044784
260	9,95833333	16,48054663	1296,401124	6,522213296	0,91009135	0,512284426
261	10,4166667	16,49567905	18,2682438	6,079012382	0,363178081	0,435073077
262	14,1666667	16,52427139	1164,485528	2,357604721	0,686216137	0,530915287
263	2,54166667	16,54101493	429,8482528	13,99934827	0,40184512	0,480805381
264	16,5	16,66122717	1157,685279	0,161227175	2,885093767	1,175460985

265	6,79166667	16,69920014	1320,118676	9,907533477	0,911351261	0,570230948
266	16,5833333	16,73191154	1321,574929	0,148578205	0,785073464	0,750229278
267	16,6666667	16,85226129	4721,06579	0,185594621	2,888393977	1,930009389
268	16,5416667	16,88444786	197,9046585	0,342781188	0,772477621	0,297435562
269	16,625	16,90540692	1495,580867	0,280406924	0,503017647	0,657980652
270	16,75	16,96917308	1273,504799	0,219173075	1,53038764	1,472266746
271	16,875	17,03101164	3014,38189	0,156011645	1,484125672	1,259438196
272	16,9166667	17,06310938	1186,357225	0,146442714	0,770345658	1,09264019
273	16,9583333	17,08271528	199,5379076	0,124381951	0,470541683	0,522983807
274	4,16666667	17,09648116	405,5195448	12,92981449	0,330381013	0,975451868
275	17,0416667	17,31525111	13505,84097	0,273584441	5,250478756	4,423281247
276	15,0833333	17,35428653	1138,425529	2,270953201	0,936850226	0,499506376
277	17,125	17,36893651	412,6352551	0,243936514	0,35159952	0,406225799
278	17,3333333	17,40520144	2609,749999	0,07186811	0,870358298	0,932820182
279	17,2916667	17,45909344	4876,012465	0,167426775	1,293407973	1,638926133
280	17,2083333	17,46833236	585,8277883	0,259999027	0,221734044	0,468222027

281	17,4583333	17,68470007	12348,31711	0,226366735	5,192824998	4,242953993
282	17	17,72617763	1720,278139	0,726177628	0,995461418	0,694822401
283	17,6666667	17,75700483	1224,345106	0,090338164	0,73985286	0,384584621
284	15,375	17,78891422	1023,560145	2,413914223	0,765825422	1,017208987
285	17,5	17,81733624	1822,039906	0,317336238	0,682128357	1,17034395
286	17,5416667	17,87493267	893,3323243	0,333265999	1,382314272	1,46759454
287	17,7916667	17,92842681	1012,870874	0,136760139	1,28385935	1,605499375
288	17,8333333	17,93655614	232,7465983	0,103222803	0,195103945	0,199357374
289	17,625	18,0444121	596,1402969	0,419412104	2,58854323	2,126007606
290	17,875	18,12461624	7636,364074	0,24961624	1,924899255	2,067207456
291	2,5	18,16348417	765,0087348	15,66348417	0,932830441	0,763249797
292	10,5833333	18,18725246	1967,341014	7,603919125	0,57043881	1,04667546
293	18,0416667	18,2089169	1414,79523	0,167250237	0,519946671	0,491658265
294	18,0833333	18,23434151	637,7865256	0,151008178	0,610190593	0,715224894
295	18,2083333	18,25999679	1601,486817	0,051663455	0,615726656	0,728963534
296	17,9583333	18,31139276	1916,713855	0,353059431	1,233503425	0,904884554

297	18,25	18,45468433	5468,105834	0,20468433	3,43899756	2,187680054
298	18,125	18,49715401	1928,823881	0,372154011	1,019272351	1,444275097
299	18,1666667	18,54041256	369,4297785	0,373745893	1,038205177	1,474997204
300	18,375	18,60190161	4387,242333	0,226901615	1,475737319	1,589495552
301	6,16666667	18,67334952	1606,107707	12,50668285	1,714749649	2,71287452
302	18,5833333	18,69712085	782,9007614	0,113787516	0,570511973	0,442466116
303	18,5	18,84946902	4710,486391	0,349469018	3,656356055	3,19068713
304	4,29166667	19,46218264	58413,63209	15,17051597	14,70512692	14,94469285
305	18,7916667	19,53362861	1732,949467	0,741961945	1,71470333	0,879384366
306	19,2916667	19,55805839	1598,181678	0,26639172	0,586314598	0,912782236
307	19,375	19,63619196	312,9879603	0,261191956	1,875205673	1,06484565
308	19,3333333	19,71533631	5393,497226	0,382002972	1,899464371	1,617620787
309	19,5416667	19,74297824	840,645141	0,201311571	0,663406389	2,235372192
310	14,9583333	19,76902515	140,2996707	4,810691815	0,625125857	0,281419353
311	19,5833333	19,82145914	1768,595829	0,238125808	1,258415815	0,473150696
312	18,8333333	19,84848131	887,8087986	1,015147975	0,648532023	0,404398697

313	19,7916667	19,90789719	2072,863473	0,116230526	1,425981208	2,322394469
314	19,0416667	19,93225648	960,7826214	0,890589818	0,584623007	0,431452246
315	18,75	19,95721792	1818,181752	1,207217918	0,59907442	0,548815515
316	18,7083333	19,97459097	667,7415582	1,266257636	0,416953232	0,503236734
317	19,0833333	20,00988523	1607,92544	0,926551898	0,847062284	0,582645454
318	19,4166667	20,05183909	2042,66419	0,63517242	1,006892512	0,691428407
319	19,25	20,08434314	1331,340683	0,834343143	0,780097354	0,848100992
320	20,0416667	20,21522345	270,915435	0,173556781	3,141127315	0,822442299
321	19,9166667	20,24809972	2946,950512	0,33143305	0,789030459	1,002433037
322	5,16666667	20,3357374	6100,754199	15,16907073	2,103304417	2,017266975
323	19,6666667	20,42264411	490,2147007	0,755977441	2,085760975	1,837500041
324	20,3333333	20,47801999	3394,376454	0,144686653	1,32902109	1,601946529
325	20,375	20,48468538	207,8963403	0,109685381	0,159969459	0,460304943
326	13,1666667	20,51140526	1730,834291	7,344738593	0,641277101	2,146467731
327	18,9166667	20,56295416	2263,151918	1,646287495	1,237173638	1,100824095
328	20,5	20,6030448	3164,14676	0,103044804	0,962175412	1,009005485

329	20,5416667	20,6658986	5344,491722	0,124231935	1,508491159	2,422858807
330	20,5833333	20,6815885	520,1994495	0,098255164	0,376557472	0,713759636
331	20,2916667	20,77468736	1678,704149	0,483020688	2,234372596	3,469605015
332	20,6666667	20,80517975	1562,072318	0,138513087	0,731817574	0,397411924
333	20,7083333	20,81948937	331,3899672	0,111156037	0,343430793	0,502762178
334	20,75	20,92992842	976,9837679	0,179928416	2,650537109	0,75661148
335	20,7916667	20,94591143	936,742664	0,15424476	0,38359225	0,446967548
336	20,875	21,04692278	127,8881474	0,171922777	2,424272401	2,840340135
337	20,25	21,07883421	1650,164274	0,828834211	0,765874411	1,072226815
338	13,4583333	21,08461852	214,7441375	7,626285185	0,138823385	0,263000029
339	8,70833333	21,10946229	1423,42904	12,40112895	0,596250469	0,417573802
340	21,0833333	21,20759404	6850,940915	0,124260707	2,355162063	2,084491963
341	20,9583333	21,35854605	3773,762695	0,400212716	3,622848214	2,234850104
342	21,1666667	21,36583831	256,3155485	0,199171647	0,17501435	0,247005956
343	21,25	21,40435178	505,5088204	0,154351779	0,924323166	0,224533935
344	21,125	21,49745332	418,5405843	0,372453318	2,234436939	0,830818859

345	21,375	21,56703336	6181,125082	0,192033356	1,669920905	1,588074357
346	21,4583333	21,63647976	853,9086962	0,178146428	1,666713726	1,663699661
347	21,5	21,68361714	1921,244029	0,183617136	1,131297	1,233211764
348	21,5833333	21,73553632	859,500418	0,152202982	1,246060293	1,679547247
349	17,9166667	21,78307023	2213,783916	3,866403564	1,140813966	0,814346235
350	21,7083333	21,80703213	2045,745646	0,098698794	0,575085514	0,862969267
351	21,75	21,91584255	6571,974421	0,165842545	2,61145004	1,916919002
352	21,7916667	21,93641305	559,1456388	0,14474638	0,493692031	1,605560499
353	21,8333333	21,94520692	237,3485129	0,111873591	0,211053063	0,518750364
354	21,6666667	22,0631754	9745,530031	0,396508736	2,831243482	3,158698489
355	7,08333333	22,81260604	70281,67331	15,72927271	17,98633529	17,84107838
356	22	22,884883	3003,482211	0,884882998	1,734646993	1,859474405
357	22,125	22,91439726	1332,431195	0,789397256	0,708342205	1,536954208
358	22,1666667	22,92609742	620,5133631	0,759430754	0,280803956	0,375933782
359	22,375	22,94820478	1731,742836	0,573204782	0,530576668	0,5115871
360	22,9166667	22,96930253	238,1095402	0,052635859	0,506345852	0,196885432

361	22,4166667	22,98557273	518,2372521	0,568906068	0,390484993	0,518282879
362	22,8333333	23,10274577	669,7040492	0,269412435	2,812152817	1,28350122
363	22,5833333	23,13838068	2025,910591	0,55504735	0,855237968	1,052956434
364	23,0416667	23,16365269	554,6071381	0,121986023	0,606528158	0,966801296
365	5,91666667	23,18927016	1347,591226	17,27260349	0,614819238	0,45017433
366	6,625	23,22651597	1636,467854	16,60151597	0,893899368	0,994393208
367	23,125	23,25903084	2781,440532	0,134030844	0,780357091	1,367195708
368	17,25	23,31998706	1367,714446	6,06998706	1,462949185	1,521653288
369	23,25	23,35666774	2308,246027	0,106667736	0,880336219	0,935039495
370	23	23,42265065	772,3204745	0,422650655	1,583590046	1,565615558
371	21,9583333	23,4371983	444,3404203	1,478864963	0,3491434	0,771734679
372	17,1666667	23,47176416	1419,838469	6,305097491	0,829580673	0,682085152
373	22,7916667	23,50598233	2412,721471	0,714315667	0,821236213	0,939170759
374	22,5416667	23,61807753	8368,660832	1,076410863	2,690284716	2,147006452
375	22,4583333	23,71334157	8867,419578	1,255008233	2,286336877	2,694475863
376	22,875	24,02147707	21108,7253	1,146477069	7,395252068	6,650914878

377	23,6666667	24,03946928	166,2561653	0,372802609	0,431812955	0,207805854
378	23,75	24,07007359	824,3872565	0,320073594	0,73450364	0,602371218
379	23,9166667	24,12725232	2950,957383	0,210585656	1,372289486	1,132312578
380	15,625	24,17591372	1256,053802	8,550913719	1,167873524	1,011524177
381	4,75	24,19271257	250,0290053	19,44271257	0,403172339	0,218008044
382	23,8333333	24,22858639	1494,1865	0,395253058	0,860971783	0,950768895
383	23,7916667	24,24133993	465,2208895	0,449673259	0,306084832	0,198547942
384	16,4166667	24,28035154	2031,713212	7,863684872	0,936278714	0,713377061
385	23,7083333	24,30241118	579,8904542	0,594077852	0,529431506	0,699498395
386	24,25	24,36077301	3831,899193	0,110773014	1,400683899	1,151341973
387	24,0833333	24,46141552	4634,264133	0,378082183	2,41542005	1,685649581
388	12,2083333	24,54912055	3971,335857	12,34078722	2,104920808	1,784724152
389	24,4583333	24,58618471	2922,856885	0,127851373	0,889539752	1,008348261
390	24,3333333	24,59865005	526,1069301	0,265316712	0,299168138	1,545836054
391	24,375	24,64019803	535,910121	0,265198033	0,997151709	1,62830182
392	24,5833333	24,67424234	1351,876199	0,090909007	0,817063375	1,699285993

393	24,625	24,68524156	888,6655293	0,060241559	0,263981257	0,360349699
394	24,2083333	24,71275958	1408,742224	0,504426247	0,66043251	0,973608026
395	24,0416667	24,83853908	8165,942074	0,796872413	3,018707977	3,407726727
396	24,2916667	24,97228203	10712,04802	0,680615367	3,209830885	2,880187337
397	24,75	24,98797238	1249,424689	0,237972376	0,376568227	1,027611345
398	24,9583333	25,02029873	1602,241827	0,061965394	0,775832421	0,63808099
399	23,625	25,15822115	7273,803293	1,533221149	3,310138122	4,007793729
400	19,9583333	25,16242791	83,00784771	5,204094578	0,100962306	0,116084387
401	25,0416667	25,20640702	2732,321876	0,164740357	1,055498689	1,01225928
402	25,125	25,28741347	789,3394059	0,16241347	1,94415471	1,609064181
403	18,875	25,42843789	3778,951995	6,553437891	3,384586112	2,177332366
404	25,25	25,54790631	9027,050231	0,297906311	2,867242081	2,406063507
405	25,2916667	25,59994814	2641,990438	0,30828147	1,249003803	1,122057717
406	25,5416667	25,63744929	906,2773893	0,095782627	0,900027781	0,81209765
407	25,375	25,70994358	1494,495116	0,334943582	1,739862927	1,066413411
408	25,5	25,77251327	3391,90547	0,272513267	1,501672423	1,422580697

409	25	25,8538272	1259,604126	0,853827197	1,951534323	2,130831823
410	25,75	25,88058324	1176,808279	0,130583237	0,642144954	0,93356118
411	25,8333333	25,90903712	580,3496252	0,075703788	0,682893225	0,633906403
412	25,7916667	26,04632745	3063,342327	0,254660786	3,294967953	2,052539611
413	25,1666667	26,19860693	11420,02993	1,031940259	3,654707365	4,888098228
414	12,0416667	26,2447965	2783,631543	14,20312983	1,108549727	0,88255835
415	17,0833333	26,26677802	1044,046221	9,183444684	0,527556473	0,744465827
416	26	26,32289445	5258,899855	0,322894454	1,346794468	2,249815226
417	26,25	26,34597863	1762,870635	0,095978632	0,554020282	0,642123827
418	26,0833333	26,42716285	383,7127982	0,343829514	1,948421162	2,18127469
419	26,2916667	26,47615167	3528,619162	0,184485004	1,175731758	1,037367202
420	26,1666667	26,52921911	3907,951459	0,362552442	1,273618506	2,516141082
421	26,4583333	26,59193148	4990,404204	0,133598149	1,50509697	1,858249208
422	26,0416667	26,70962098	8034,294561	0,667954316	2,824548021	2,710485502
423	26,5833333	26,72567215	1303,037132	0,142338817	0,385228014	0,752974793
424	26,4166667	26,79528155	2937,841537	0,378614885	1,670625646	3,324509412

425	26,2083333	26,98617039	15896,29554	0,777837056	4,58133209	4,748669517
426	23,2083333	27,31344087	30563,53326	4,10510754	7,854491622	7,949781732
427	26,9583333	27,42688422	1729,726268	0,468550887	2,722640333	1,315829822
428	27,125	27,4814213	4326,320231	0,356421305	1,308890016	1,219893777
429	18,4166667	27,56297787	2570,009187	9,1463112	1,957357499	2,960051563
430	27,4583333	27,57937739	1005,855144	0,121044054	0,393588489	0,466534657
431	27,5	27,59989259	933,2184182	0,09989259	0,492364856	0,428228351
432	27,2083333	27,91207273	29228,98884	0,703739401	7,492323472	8,254760395
433	13,5	27,9265891	337,0555934	14,4265891	0,3483928	0,16311442
434	27,875	28,02592819	7899,048153	0,150928193	2,384138205	2,065422199
435	0	28,02592819	54000	28,02592819	0	0
436	27,7083333	28,15000567	2701,194202	0,441672334	2,977859384	2,067710121
437	27,75	28,16527228	481,8254398	0,415272283	0,366398786	0,285136652
438	28,0833333	28,24334349	1702,842852	0,160010159	1,873709006	2,469351245
439	18,5416667	28,26728574	1431,793974	9,725619075	0,574613981	0,505043117
440	28,1666667	28,29854613	553,6179743	0,131879468	0,750249434	0,464463781

441	27,25	28,32870673	981,0193375	1,078706726	0,723854193	0,675632288
442	28,2916667	28,34592599	185,4318454	0,05425932	0,413262254	0,308554362
443	27,9583333	28,40737837	1310,232573	0,44904504	1,474857286	0,875208314
444	28,3333333	28,43829714	1163,954899	0,104963808	0,74205043	1,035375094
445	27,3333333	28,47620431	1453,96978	1,142870976	0,909772035	0,997879477
446	14,3333333	28,55321965	5840,922933	14,21988631	1,848368085	1,550293161
447	27	28,59374726	1749,345871	1,59374726	0,972662733	1,319569925
448	27,4166667	28,60651091	331,8358765	1,189844246	0,306327671	0,639404009
449	28,5833333	28,64506033	3128,496734	0,061726999	0,925186071	1,139690679
450	28,125	28,72086895	348,1706425	0,595868945	1,819406712	1,432350069
451	28,625	28,78672512	3846,05354	0,161725125	1,580548305	1,414743124
452	27,0416667	28,84320513	3404,75538	1,801538465	1,355520167	1,783494001
453	28,75	28,87424711	2814,475991	0,124247109	0,745007455	0,807613235
454	26,875	28,91681874	414,1740227	2,041818744	1,021719245	1,575082538
455	28,25	28,94839485	1204,177819	0,698394847	0,757826466	0,521448572

456	28,9166667	29,0203151	4722,783627	0,103648431	1,726086009	1,890397735
457	27,625	29,06208309	1028,626576	1,437083094	1,002431926	0,385348251
458	29	29,09814913	1302,804543	0,098149127	0,86558479	0,340347782
459	29,0416667	29,12820581	2076,886526	0,086539142	0,721360352	0,974124757
460	29,0833333	29,17434187	1151,412255	0,09100854	1,107265547	0,505254062
461	29,125	29,30543	8552,91119	0,180430003	3,146115117	2,59230297
462	28,4583333	29,3887547	2703,733802	0,930421371	1,999792846	2,062582438
463	29,25	29,4164149	2065,257092	0,166414895	0,663844576	0,852507744
464	18,6666667	29,44188435	1020,966878	10,77521769	0,611267022	2,012043061
465	27,8333333	29,47315777	2346,411936	1,639824436	0,750561939	0,987015539
466	29,4166667	29,48750149	586,7023318	0,070834826	0,344249365	0,570254356
467	29,4583333	29,53841702	1957,119088	0,080083687	1,221972665	0,770258099
468	29,2916667	29,71096026	10355,05302	0,419293596	4,14103783	3,057082634
469	29,3333333	29,74292515	2052,91669	0,409591817	0,767157298	0,661959451
470	29,625	29,77942336	351,3887175	0,154423364	0,87595712	0,380103872
471	29,5416667	29,81445835	741,3161019	0,272791687	0,840839767	0,365683847

472	29,6666667	29,89734322	772,9876955	0,230676555	1,98923683	1,405617032
473	29,75	29,95895505	4470,878106	0,208955052	1,478683928	1,40445197
474	29,875	29,97528827	764,6035346	0,100288265	0,391997113	0,985229036
475	29,7916667	30,03983012	804,5631659	0,24816345	1,549004424	2,054638066
476	29,9583333	30,13012565	8225,286903	0,171792316	2,167092801	2,782024454
477	15,5416667	30,1794519	999,0901083	14,63778523	1,183830029	0,741016653
478	30	30,21887884	1662,575691	0,218878843	0,946246599	0,83407339
479	30,1666667	30,27634512	982,9611201	0,109678453	1,379190661	1,208503138
480	30,0416667	30,31317986	1090,761594	0,271513196	0,884033831	0,378544146
481	28,8333333	30,38268677	5760,791196	1,549353435	1,668165728	1,567300314
482	30,0833333	30,43035852	3381,148059	0,347025183	1,144121947	1,460425778
483	30,3333333	30,53268034	9172,93171	0,199347008	2,455723797	2,766875181
484	29,8333333	30,58710492	1389,078283	0,753771585	1,306189858	2,319372889
485	30,5	30,61018882	777,624501	0,11018882	0,554013631	0,369908751
486	30,5833333	30,7357058	1027,805886	0,152372462	3,012407416	1,739932495
487	28,375	30,80268768	5260,948485	2,427687677	1,607565165	1,840918173

488	30,7083333	30,89639126	6141,173508	0,188057927	2,248885997	1,636752586
489	30,6666667	30,99633272	7094,768456	0,329666048	2,398594911	1,851091224
490	30,8333333	31,07182774	905,2831294	0,238494405	1,811880553	1,492349341
491	30,9583333	31,10959919	1547,564815	0,151265852	0,906514734	0,497302586
492	20,9166667	31,13163678	309,9745748	10,21497011	0,528902231	0,461236293
493	17,4166667	31,16138732	1861,836082	13,74472065	0,714012958	0,571360627
494	31,125	31,17398928	514,5403176	0,04898928	0,302447092	0,497103627
495	31	31,19743195	1035,472634	0,197431953	0,562624141	0,766440539
496	18,625	31,2617008	642,3610573	12,6367008	1,542452388	1,068525317
497	31,1666667	31,38561986	9171,357986	0,218953193	2,97405737	2,889006635
498	31,25	31,40017022	398,3528429	0,150170217	0,349208586	0,606687976
499	31,3333333	31,45451114	170,6302083	0,121177802	1,304182041	2,36516062
500	30,875	31,62875274	4240,653858	0,753752742	4,181798545	2,77432921
501	31,2083333	31,73339107	7194,330352	0,525057735	2,511319838	2,119331246
502	31,5833333	31,80633614	3252,495384	0,223002804	1,750681646	1,893570268
503	31,6666667	31,82079449	406,2109297	0,154127824	0,347000499	0,398910283

504	31,75	31,84032223	1435,35648	0,090322232	0,468665788	0,622894301
505	31,7916667	31,85855033	1349,029987	0,066883663	0,437474335	1,034293848
506	31,8333333	31,90165028	1571,394963	0,068316945	1,034398783	0,518941405
507	31,5	32,03727003	4722,163567	0,537270031	3,25487405	2,264316798
508	31,625	32,04656334	748,7391802	0,421563337	0,223039348	0,274261347
509	31,5416667	32,07247811	1859,819136	0,530811439	0,62195445	0,741072816
510	32,0416667	32,15433753	6771,398807	0,112670865	1,964626213	2,430099794
511	24,4166667	32,27770876	1347,749469	7,861042093	2,960909472	2,317322224
512	32,0833333	32,30898864	1452,528379	0,225655304	0,750717062	0,533204436
513	32,25	32,33227763	1205,270539	0,08227763	0,558935844	0,471224567
514	32,2083333	32,43735955	1150,274976	0,229026222	2,521966186	2,035045416
515	15,9583333	33,39619243	89611,51123	17,4378591	23,01198906	22,97318794
516	32,4166667	33,40477003	57,63419053	0,988103359	0,205862242	0,225433549
517	33,0416667	33,43856174	842,1845196	0,39689507	0,811001053	0,463874589
518	32,625	33,4842814	3335,688138	0,8592814	1,097271932	1,460529122
519	33,2916667	33,5305786	3140,058212	0,238911937	1,111132885	1,496418573

520	33,2083333	33,58635925	864,7921257	0,378025912	1,338735398	1,546091623
521	33,4166667	33,61473534	1852,208267	0,198068671	0,681026223	0,515376241
522	32,9166667	33,6965689	882,1733652	0,779902231	1,964005437	0,419635115
523	33	33,7399005	1380,941947	0,739900498	1,039958397	0,519903318
524	33,625	33,82575971	2464,857963	0,200759709	2,060621065	1,363072949
525	21	33,85464763	1549,224978	12,85464763	0,693310109	0,639844208
526	33,7083333	33,88883005	1404,966558	0,180496719	0,820378133	0,667830608
527	33,8333333	33,92010435	69,0564243	0,086771015	0,750583094	0,168143868
528	33,7916667	33,95856819	1475,457918	0,166901528	0,923132324	0,701860224
529	33,875	34,07291313	1098,867022	0,197913127	2,744278371	1,076893531
530	33,9583333	34,09497318	282,7832367	0,136639852	0,529441392	0,331385772
531	33,125	34,15478659	3184,690452	1,029786589	1,435521689	1,395496752
532	33,6666667	34,19021974	2955,940355	0,523553075	0,850395677	1,514461312
533	32,5416667	34,24610707	3938,442325	1,704440399	1,341295782	1,612219264
534	34,125	34,29450195	3928,056417	0,169501951	1,16147725	1,899813584
535	32,4583333	34,38538674	1403,990817	1,927053405	2,181234886	1,743952169

536	34,25	34,46233633	510,1703583	0,212336332	1,846790255	1,234240047
537	34,375	34,51776822	3392,622908	0,142768217	1,330365233	0,986050265
538	34,4166667	34,62109413	4528,421197	0,204427461	2,479821866	1,805512451
539	34,5	34,63977832	1137,030223	0,13977832	0,448420601	0,776074561
540	34,5416667	34,74142744	1056,682983	0,199760777	2,439578974	1,683220256
541	34,5833333	34,76264435	1921,173948	0,179311015	0,509205699	0,806648333
542	34,625	34,78674485	867,2763309	0,161744849	0,578412025	1,558268062
543	33,75	34,93237264	2318,632371	1,182372641	3,49506702	1,828270759
544	33,0833333	35,00448784	5073,384055	1,92115451	1,730764834	1,306370237
545	34,8333333	35,04381138	2245,932994	0,210478043	0,943764809	0,793398592
546	32,7916667	35,06773371	536,7404367	2,276067041	0,574135947	0,806607766
547	35,0416667	35,08495208	562,5707451	0,043285418	0,413241046	0,753873344
548	27,5833333	35,14736018	451,8709589	7,564026845	1,497794254	1,003730971
549	34,7916667	35,23096704	5773,334304	0,439300371	2,006564622	1,804493803
550	24,5	35,27779031	2646,657531	10,77779031	1,123758519	1,636073703
551	34	35,46144286	3463,072584	1,461442858	4,407661165	2,29885719

552	35,25	35,48412033	643,6021449	0,234120334	0,544259431	0,591372735
553	35,4166667	35,65724236	9479,061363	0,24057569	4,154928535	3,837035536
554	35,375	35,72905939	3910,132527	0,354059386	1,723608713	1,419710046
555	35,625	35,76550514	1591,53139	0,140505136	0,874698001	0,732166025
556	35,6666667	35,79250266	848,6164786	0,125835992	0,647940538	0,402968447
557	35,75	35,84858198	2041,363378	0,098581984	1,345903799	0,925583314
558	35,7916667	35,86897296	1284,430454	0,077306289	0,489383335	0,670490192
559	35,8333333	35,97071954	659,3872033	0,137386202	2,44191791	1,647232477
560	35,5833333	36,00610903	2807,751426	0,422775695	0,849347828	1,06684183
561	35,9583333	36,03233078	2123,687844	0,073997444	0,629321974	0,847681862
562	16,2916667	36,06205271	309,8629792	19,77038604	0,713326318	1,893677522
563	35,875	36,08230936	456,3199593	0,207309355	0,486159554	0,263636616
564	35,9166667	36,10185112	787,6154053	0,185184449	0,46900224	0,954772706
565	36,0416667	36,23704333	2814,36604	0,195376667	3,244613251	1,973562012
566	36,0833333	36,32742221	2548,312666	0,244088877	2,169093039	2,075999321
567	36,2083333	36,36399982	1919,649002	0,155666484	0,877862554	0,714335599

568	36,25	36,44203514	2963,898109	0,19203514	1,872847752	2,496582451
569	36,1666667	36,46839177	1809,306807	0,301725106	0,632559177	0,730324122
570	36,375	36,51848341	2597,376156	0,143483408	1,20219925	0,729087188
571	34,4583333	36,74507559	14947,52289	2,286742254	5,438212312	5,966828147
572	35,2916667	36,99839146	16270,34567	1,706724796	6,079580999	6,327292667
573	36,7083333	37,01278922	331,405848	0,304455885	0,345546141	0,120060584
574	36,9583333	37,10821388	8536,799693	0,149880542	2,290191771	2,289702508
575	23,0833333	37,21520146	267,992081	14,13186813	2,567702036	2,067486558
576	36,7916667	37,27408101	881,4568455	0,482414344	1,413109199	0,340801994
577	20,2083333	37,28004434	287,680768	17,071711	0,143119869	0,346204617
578	36,75	37,30212512	1749,183877	0,552125116	0,529938673	0,665795681
579	26,5416667	37,3291278	1347,203747	10,78746113	0,648064411	1,218088612
580	37,25	37,40957889	6161,156663	0,159578889	1,930826131	1,667368775
581	36,6666667	37,47265604	202,9089822	0,805989371	1,51385158	1,211277727
582	36,875	37,51077904	1426,875842	0,635779043	0,91495212	0,520274694
583	37,1666667	37,55907944	3257,929967	0,392412776	1,159209601	0,979049231

584	26,625	37,63538548	1069,388081	11,01038548	1,831344905	2,06602189
585	37,5416667	37,65132451	1034,980238	0,109657842	0,382536674	1,029297512
586	37,625	37,68986543	177,4455111	0,064865428	0,924982058	1,549980142
587	36,625	37,7278542	1241,95207	1,102854199	0,911730517	1,075426192
588	37,5833333	37,86298685	11533,761	0,27965352	3,243183686	3,334621095
589	37,7083333	37,90249355	3193,557407	0,19416022	0,948160796	1,35851194
590	37,75	37,9611395	2488,584283	0,2111395	1,407502741	1,792379567
591	37,875	38,00088251	713,4863647	0,125882506	0,953832144	0,354946347
592	37,9166667	38,07242375	1215,115399	0,155757079	1,716989732	1,005015686
593	30,375	38,11225831	2132,745261	7,737258308	0,95602951	1,381637102
594	28,4166667	38,13234279	110,2775025	9,715676126	0,482027619	0,595496326
595	26,75	38,16621452	2855,689314	11,41621452	0,812921399	1,030051619
596	31,9166667	38,19517927	1457,319154	6,2785126	0,695153986	1,003112555
597	37,9583333	38,34150119	6898,712105	0,383167853	3,511726073	2,108000884
598	38,1666667	38,40348482	5767,853138	0,236818156	1,48760726	1,85145911
599	38,3333333	38,54190134	2643,118234	0,208568008	3,321996449	2,867061484

600	38,2916667	38,56561774	824,7679828	0,273951074	0,569193594	0,439110036
601	38,4166667	38,61616852	2581,957083	0,199501855	1,213218742	0,863273636
602	38,375	38,71270072	1016,514257	0,337700721	2,316772775	1,192084771
603	38,2083333	38,76488756	4245,157673	0,556554228	1,252484169	1,596758309
604	38,625	38,79832363	1784,305617	0,173323628	0,802465617	0,776096729
605	38,6666667	38,8405268	2672,48621	0,173860131	1,012876064	1,020791305
606	38,25	38,9042534	1972,376342	0,654253399	1,529438429	1,460796361
607	38,8333333	38,92255582	629,7526895	0,089222487	0,439258116	0,24506819
608	38,875	38,99300321	3640,291685	0,118003209	1,690737334	1,474496707
609	38,9166667	39,04838105	769,4659366	0,131714387	1,329068263	0,9597681
610	31,7083333	39,1800193	2888,553223	7,471685962	3,159317794	1,844013777
611	31,0833333	39,26407154	5021,412804	8,180738208	2,0172539	1,533639994
612	39,125	39,28539326	352,6361256	0,160393257	0,511721195	0,542449652
613	39,25	39,33253113	4404,715343	0,082531131	1,131308966	1,735739907
614	37,8333333	39,43531283	9566,409794	1,601979499	2,46676083	2,645282434
615	39,2916667	39,50011438	3260,127993	0,208447709	1,555237033	0,976344271

616	39,0833333	39,60457594	561,6167934	0,521242611	2,507077649	1,926572087
617	39,5	39,67892424	4984,441105	0,178924241	1,784359121	1,476986429
618	39,5833333	39,78491611	1035,430896	0,20158278	2,54380494	0,858368816
619	39	39,79589041	716,4314388	0,795890414	0,263383209	0,41875941
620	37,5	39,92392999	7209,06576	2,423929986	3,072949748	2,453663603
621	39,7916667	39,9848042	3185,044846	0,193137529	1,460981014	1,111324784
622	39,8333333	39,99190818	195,0920416	0,158574846	0,170495622	0,116314595
623	39,875	40,03050133	1257,065676	0,155501327	0,926235533	0,951229481
624	39,9583333	40,08596011	4198,192695	0,127626773	1,331010708	1,406154093
625	27,375	40,22425615	4955,593375	12,84925615	3,319105122	2,737111382
626	23,4583333	40,27493141	2410,969779	16,81659808	1,216206179	0,84440417
627	40,2083333	40,38345339	4881,755343	0,175120055	2,604527466	2,712051107
628	40,125	40,39896495	576,8661775	0,273964952	0,372277524	0,587783041
629	40,2916667	40,41202219	66,12788418	0,120355521	0,313373666	0,311503925
630	40,0833333	40,48963928	2272,303229	0,406305949	1,862810265	1,868866057
631	40,1666667	40,55870173	4997,322589	0,392035062	1,657498716	2,508104606

632	40,4583333	40,61326263	3367,713691	0,154929294	1,309461579	1,161847579
633	40,5416667	40,66715478	290,4767084	0,125488111	1,2934116	1,487137474
634	40,5833333	40,77386193	1604,321722	0,190528593	2,560971564	1,9114762
635	40,375	40,79120059	1299,104683	0,416200592	0,416127988	0,551485791
636	40,75	40,82455967	2443,951741	0,074559669	0,800617831	1,754334533
637	40,7083333	40,86269941	601,9453433	0,154366081	0,91535389	0,867642337
638	38,0416667	40,89672767	1531,172875	2,855060999	0,816678026	1,0708878
639	40,5	40,9909044	8476,581648	0,490904399	2,260241601	2,591540174
640	40,875	41,0705965	12,28767923	0,195596503	1,912610514	1,656875842
641	40,9583333	41,09708346	1092,952043	0,138750127	0,635686964	0,936112359
642	41,0416667	41,12529535	1139,289705	0,083628685	0,677085392	0,494253694
643	30,25	41,27818941	102,0200535	11,02818941	3,669457317	0,990667515
644	32,75	41,44723927	13295,46372	8,69723927	4,057196724	3,890201933
645	41,25	41,51838302	202,1576843	0,268383023	1,707450076	1,4837356
646	41,1666667	41,55214441	377,2625244	0,38547774	0,810273199	0,248408861
647	41,4583333	41,57741854	980,0578311	0,119085209	0,606579266	0,506632587

648	41,2916667	41,66366728	2723,98073	0,372000616	2,069969765	1,08590354
649	41,5416667	41,69782432	1184,791999	0,156157652	0,819768875	1,127167377
650	41,375	41,73142571	1546,023816	0,356425714	0,806433468	1,557975934
651	41,6666667	41,80329728	1059,758487	0,13663061	1,724917518	2,126090052
652	41,7083333	41,89915257	2494,481392	0,190819234	2,300526967	1,086826602
653	41,7916667	42,00675839	1445,039267	0,21509172	2,582539663	3,653929842
654	0	42,00675839	54000	42,00675839	0	0
655	41,875	42,02911653	971,7885788	0,154116532	0,536595495	0,984953615
656	41,9583333	42,15848991	1699,641565	0,200156574	3,104961014	0,883333554
657	23,5416667	42,18340612	669,1107936	18,64173946	0,5979892	0,966812051
658	42,125	42,19666649	997,2393123	0,071666492	0,318248818	0,529996308
659	42,1666667	42,21317289	989,8276148	0,046506224	0,396153575	0,55658667
660	41,4166667	42,24186938	1459,632635	0,825202714	0,688715767	1,770364442
661	42,2083333	42,34308688	1584,325157	0,134753546	2,429219962	0,777101054
662	41,625	42,42923491	7548,656476	0,804234912	2,067552786	2,486266202
663	29,5833333	42,55904629	6138,205646	12,97571296	3,115473153	4,176288687

664	42,4166667	42,59244448	1734,415843	0,175777813	0,80155646	0,754130072
665	42,5	42,62040253	289,5690542	0,120402526	0,670993123	0,366780417
666	42,5833333	42,64784028	1399,984178	0,064506951	0,658506199	0,767158445
667	42,4583333	42,70272232	3954,172058	0,244388984	1,317168791	1,062155191
668	42,625	42,76406409	5203,640911	0,13906409	1,472202532	1,573452186
669	42,375	42,84012636	1550,402058	0,465126358	1,825494434	1,461263974
670	42,75	42,88119246	2673,368516	0,131192464	0,985586554	1,043981114
671	42,8333333	42,92065688	1037,769592	0,087323545	0,947145939	0,589711887
672	42,875	42,94690855	2094,965903	0,071908545	0,630040005	1,359606184
673	42,7916667	43,02823581	6039,793537	0,236569147	1,95185445	1,819180729
674	42,6666667	43,14183213	1467,402341	0,475165462	2,726311557	2,226035648
675	42,9583333	43,17601704	694,8710011	0,217683702	0,820437762	0,371824429
676	43,0416667	43,18785981	800,4676351	0,146193141	0,284226524	0,484878284
677	43,125	43,23572061	2758,19831	0,110720613	1,14865933	0,92926995
678	43,0833333	43,27991439	1259,273928	0,196581052	1,060650544	1,287113158
679	43	43,3170079	501,0896638	0,3170079	0,890244341	1,317303982

680	43,2083333	43,37994622	652,6891746	0,171612884	1,510519618	1,982710109
681	43,2916667	43,4582492	5181,879633	0,166582536	1,879271645	2,51855032
682	43,3333333	43,49355924	2625,6801	0,160225903	0,847440827	0,961288052
683	43,1666667	43,54550527	1941,947964	0,378838604	1,246704813	2,841319235
684	43,4583333	43,58030867	523,5162276	0,121975337	0,835281587	0,439961384
685	43,5	43,63045054	1844,75757	0,13045054	1,203404883	2,80057183
686	43,375	43,6642902	1576,862798	0,289290197	0,812151765	1,072395457
687	43,5833333	43,83920554	2792,326404	0,255872202	4,197968125	1,94051038
688	43,625	44,05159973	18700,3863	0,426599726	5,097460579	5,256345288
689	43,6666667	44,07069807	733,8334446	0,404031403	0,458360235	1,025900427
690	44	44,20488439	8354,821317	0,204884389	3,220471678	3,672006013
691	43,75	44,22036448	396,0303393	0,470364484	0,371522278	0,278997479
692	44,1666667	44,32057756	1417,496619	0,153910893	2,405113802	2,544431245
693	44,2083333	44,33913304	654,064905	0,130799702	0,445331416	0,282009447
694	43,9166667	44,36682572	597,9591917	0,450159058	0,664624543	0,484963907
695	30,9166667	44,37790118	214,2545136	13,46123451	0,26581082	0,469107624

696	33,25	44,39957077	1892,445571	11,14957077	0,52007029	0,825733077
697	44,2916667	44,40688255	570,8039492	0,115215885	0,175482738	0,844099285
698	44,25	44,47340079	634,8334483	0,223400789	1,596437707	1,856017973
699	43,9583333	44,5218882	3089,730152	0,56355487	1,16369795	1,161521267
700	44,4166667	44,58270644	2917,688292	0,166039778	1,45963778	0,936279463
701	44,4583333	44,60082512	147,8114305	0,142491782	0,434848095	0,681882767
702	44,3333333	44,70697302	5468,183055	0,373639683	2,547549636	3,36417571
703	44,5833333	44,77777038	5645,30355	0,194437046	1,699136694	1,624036899
704	44,6666667	44,84166544	475,3456347	0,17499877	1,533481376	1,542406518
705	43,7916667	44,92947538	169,1864708	1,137808718	2,107438763	3,169760393
706	44,7916667	44,98689311	2959,537311	0,195226444	1,378025418	1,362128921
707	44,875	45,00323593	553,0264513	0,128235931	0,392227699	0,673428915
708	44,9583333	45,03643678	105,1367212	0,078103443	0,79682029	0,5530261
709	45	45,06599129	344,1990727	0,065991289	0,709308287	0,355672711
710	44,8333333	45,107526	1906,525314	0,274192669	0,996833135	0,596623172
711	20,0833333	45,14094794	1166,651792	25,05761461	0,802126462	0,83719008

712	45,0833333	45,20223994	4301,13441	0,118906604	1,471007968	1,221733723
713	45,125	45,23041332	1923,415502	0,105413322	0,676161224	0,923548849
714	45,1666667	45,26553272	2928,549755	0,098866049	0,842865446	0,968524286
715	45,0416667	45,3600613	8052,390028	0,318394637	2,268686125	2,533220484
716	40,4166667	45,50679707	3797,956085	5,090130408	3,521658505	2,640439276
717	45,3333333	45,53425072	587,093481	0,200917387	0,658887498	0,591528759
718	45,4583333	45,57492353	241,210297	0,116590193	0,976147342	0,430688016
719	45,4166667	45,65583944	1846,564463	0,239172771	1,941981859	1,454559054
720	42	45,98175599	30674,12664	3,981755988	7,821997219	7,923348661
721	45,625	46,06841844	314,7633023	0,443418437	2,079898784	1,694044117
722	45,6666667	46,08484799	354,5467354	0,418181328	0,394309366	0,224208592
723	45,7083333	46,13299124	2200,434229	0,424657902	1,155437792	0,661547164
724	46,0833333	46,19505485	2157,088433	0,111721518	1,48952677	1,017870564
725	46,125	46,24060984	3794,975184	0,115609837	1,09331966	1,290077335
726	38,125	46,26704562	251,8460426	8,142045618	0,634458754	0,572180641
727	45,8333333	46,30660132	1471,191477	0,473267983	0,949336758	0,845465821

728	45,875	46,33028514	514,8465393	0,455285138	0,568411705	1,05173788
729	46,2916667	46,38174127	2262,603959	0,090074602	1,234947149	1,133706865
730	45,9166667	46,41708136	1616,52579	0,500414696	0,848162248	0,596558092
731	46,375	46,44948948	2720,26783	0,074489477	0,777794753	0,974723607
732	46,4166667	46,47361913	1154,130351	0,056952466	0,579111731	0,468956795
733	46,1666667	46,54337859	498,3020989	0,376711928	1,674227092	1,351506105
734	46,4583333	46,57566767	2626,665235	0,11733434	0,774937896	1,342496857
735	46,5416667	46,58791898	543,1085977	0,046252316	0,294031419	0,445953065
736	46,5	46,68981112	4159,306526	0,189811118	2,445411231	2,090063052
737	45,9583333	46,81930196	729,7603844	0,860968624	3,107780147	2,331390105
738	46,625	46,83766547	1630,613939	0,212665468	0,440724274	0,628985481
739	46,7083333	46,86671033	1957,503369	0,158376998	0,697076706	1,0395544
740	46,75	46,87532018	186,8132226	0,125320182	0,206636428	0,064436375
741	46,7916667	46,91648	783,4415042	0,124813338	0,987835727	1,200109017
742	46,875	47,02485149	2909,111357	0,149851489	2,600915632	1,953743512
743	46,2083333	47,14307992	10242,36353	0,934746583	2,837482255	2,743243075

744	37,6666667	47,17005639	1142,036364	9,503389723	0,64743536	0,525846179
745	34,3333333	47,18737693	357,7526742	12,85404359	0,415692873	0,10671928
746	47,125	47,23758473	3821,008077	0,112584732	1,204987335	1,034898577
747	42,25	47,37052661	4025,856393	5,120526614	3,190605169	2,213083084
748	47,0416667	47,3847951	342,5628917	0,343128438	0,342443774	0,212648887
749	38,75	47,41703977	1050,255976	8,667039774	0,77387208	0,552466615
750	47,375	47,61495264	10788,14268	0,239952636	4,749908679	3,456892138
751	42,3333333	47,64469604	1301,189277	5,311362704	0,713841646	0,598139051
752	47,0833333	47,68704639	2364,378841	0,603713058	1,016408485	0,72973188
753	47,5833333	47,76271694	178,1799859	0,179383608	1,816093197	0,770799738
754	34,9583333	47,80083688	1738,427851	12,84250355	0,914878608	1,117017415
755	47	47,83055369	2639,901886	0,830553686	0,713203276	1,200571154
756	47,7916667	47,84137198	863,6825596	0,04970531	0,259638976	0,512542495
757	42,2916667	47,94880964	2596,697308	5,657142972	2,578503878	1,221716174
758	47,8333333	48,00860245	1987,790955	0,175269116	1,435027449	0,7522387
759	47,5	48,02547309	1141,266262	0,525473094	0,40489548	1,122676542

760	46,0416667	48,04301535	692,8975269	2,001348688	0,421014263	0,614324547
761	39,375	48,08666308	3389,101404	8,711663075	1,047545282	1,572346655
762	47,6666667	48,12429073	3350,820979	0,457624063	0,903063716	1,014460211
763	48,0833333	48,18044961	1227,822654	0,097116279	1,34781317	0,469728503
764	47,2083333	48,23135926	3939,210669	1,023025929	1,221831599	1,53591843
765	48,125	48,3717533	3990,104855	0,246753304	3,36945701	2,3694302
766	48,2083333	48,3946593	1797,259686	0,186325966	0,549743891	0,524685065
767	48,2916667	48,44251743	1919,050943	0,150850759	1,148595034	0,526990165
768	48,25	48,45858053	268,4604144	0,208580532	0,385514535	0,823607251
769	48,4166667	48,49890817	583,1649292	0,082241505	0,967863366	0,48954506
770	48,4583333	48,62528182	1376,213453	0,166948489	3,032967621	1,006935277
771	48,375	48,71800624	2656,212872	0,34300624	2,225386022	2,66052093
772	48,625	48,75011281	928,0478259	0,125112806	0,770557573	2,041057406
773	48,6666667	48,88593492	12246,62195	0,219268256	3,259730809	3,50400095
774	48,5416667	48,91183973	763,2801499	0,370173063	0,621715369	0,543132225
775	48,5	48,94367873	2258,257001	0,443678731	0,764136024	0,897362952

776	48,75	49,03028067	876,2322846	0,28028067	2,078446539	0,826574353
777	46,9583333	49,05126518	1149,516645	2,092931851	0,503628345	0,804910365
778	49	49,092443	2010,690785	0,092443002	0,988267613	1,413140348
779	49,0416667	49,11817169	1532,087971	0,076505025	0,617488564	0,806637222
780	48,9583333	49,21176732	539,9366804	0,253433987	2,246295088	0,814992873
781	47,1666667	49,34727599	9344,183336	2,180609319	3,252207975	2,47893687
782	49,125	49,40017589	208,3725635	0,275175886	1,269597598	0,275325658
783	49,2083333	49,42235163	1020,911097	0,214018301	0,532217967	0,544647142
784	49,375	49,44943198	730,3358857	0,074431976	0,649928201	0,568185409
785	49,3333333	49,46677913	1167,920791	0,133445794	0,416331623	0,647777084
786	49,2916667	49,51523462	3686,002439	0,223567954	1,162931833	1,475971772
787	47,3333333	49,56232547	1356,892119	2,228992139	1,130180452	2,880514264
788	49,5	49,60324779	922,4302072	0,103247795	0,982135737	0,440391614
789	40,25	49,67536392	4250,924963	9,425363918	1,730786948	3,403507367
790	49,5833333	49,70594711	1486,848725	0,122613774	0,733996546	0,576711545
791	49,625	49,80539695	7967,306679	0,180396951	2,386796255	2,228645672
792	47,7083333	49,98855456	17126,42448	2,280221223	4,395782528	4,631267483
793	49,7916667	50,00098668	443,5159515	0,209320011	0,298370905	0,413535071
Total					864,3397071	832,4665645