



# PROTHIUS

Cátedra Organización Industrial

## **Ingeniería de organización: Prácticas finales**

*Joaquín Bautista Valhondo, Rocío Alfaro Pozo y Alberto Cano Pérez*

D-10/2012

*Departamento de Organización de Empresas*

Universidad Politécnica de Cataluña

**Publica:**

Universitat Politècnica de Catalunya  
[www.upc.edu](http://www.upc.edu)



**Edita:**

Cátedra Organización Industrial  
[www.prothius.com](http://www.prothius.com)  
director@prothius.com

## *Prefacio*

Son muchos los autores que han descrito los encuentros profesionales entre los ingenieros WILHELM LÖGRYSEN y FRANZ VON SAGGERSEN y los profesores KEMALHO KESUNO, DEW LIGHTHOUSE-WELL y OTTO VON WEIßHAAR-PETERSEN.

Parece ser que nuestros protagonistas se dedicaron durante más de dos décadas a resolver todo tipo de problemas vinculados con la Organización Industrial a los que aplicaron sin vacilar sus vastos conocimientos sobre métodos cuantitativos y sobre ingenierías.

Sería imperdonable por nuestra parte, no recordar aquí a dos de las más insignes figuras especializadas en la recopilación y narración de estos encuentros. Nos estamos refiriendo a las historiadoras LORDA CHÂTEAU-ROUSSILLON y KRISTELLA BATTAGLIA, sin cuya intensa labor profesional, muchos de estos sesudos y dilatados encuentros habrían caído en el olvido. A ellas se debe que en nuestra época podamos disfrutar de casos como el denominado ecléctico caso von Saggensen - Lögrysen y el conocido retorno a Meridian-Kaupunki. Nosotros nos limitaremos a dar continuidad a la trayectoria iniciada por ellas.

Así fue, o, al menos, así nos lo contaron.

Bautista Valhondo, Joaquín  
Alfaro Pozo, Rocío  
Cano Pérez, Alberto

Barcelona, abril de 2012



**DOE**

[www.prothius.com](http://www.prothius.com)

## *Relato 1*

# **EL ECLÉCTICO CASO VON SAGGERSEN - LÖGRYSEN**

2011-2012 Q1



**DOE**

[www.prothius.com](http://www.prothius.com)

## El ecléctico caso VON SAGGERSEN - LÖGRYSEN

–*¡Qué maravilla de paisaje!* – exclamó DEW, acercando su rostro a la ventanilla, mientras el TRANS-LAPONIANO se dirigía lentamente hacia la estación de MERIDIAN-KAUPUNKI.

Aquel día, a las nueve de la mañana, DEW LIGHTHOUSE-WELL, OTTO VON WEIßHAAR-PETERSEN y KEMALHO KESUNO, tenían una cita con el gobernador de la región, el señor WILHELM LÖGRYSEN; quien, debido a su preocupación por el deterioro del entorno natural, se había propuesto tomar medidas para conciliar la industria de la zona con el respeto al medio ambiente.

El encuentro entre nuestros amigos y el señor LÖGRYSEN se debía a una solicitud, por parte del gobernador, relacionada con la mejora de la organización de la producción del cemento que se fabricaba en la planta de MAA-JOSSAVESIVIRTAA: una agradable y tranquila ciudad cercana a MERIDIAN-KAUPUNKI.

Una vez en la planta, DEW, OTTO y KEMALHO, transportados en trineo eléctrico desde la estación, son atendidos e informados por el ingeniero jefe, FRANZ VON SAGGERSEN:

– *Un proceso de producción de cemento se compone básicamente de las siguientes fases: (1) moler mezcla de pizarras y caliza para obtener crudo; (2) hornear crudo para obtener clinker; (3) moler mezcla de clinker, yeso, puzolana y cenizas para obtener cemento; y (4) servir el cemento a granel (en cubas) o pasar al proceso de ensacado.*

– *Doctor KESUNO: para dar comienzo a esta colaboración, nos gustaría que usted y sus colegas se centrasen en el diseño del sistema que afecta a la producción de crudo y de clinker.*

– *Veamos* – dijo KEMALHO – *¿tendría usted la amabilidad de facilitarnos información sobre los equipos que desean emplear para obtener estos subproductos?*

– *¡Claro que sí!* – respondió rápidamente VON SAGGERSEN – *Disponemos de 3 hornos, H1, H2 y H3, para obtener clinker; estos hornos, cuyas tasas de producción en régimen normal son respectivamente iguales a 400, 300 y 200 toneladas de clinker por hora y un rendimiento másico del proceso igual a 0.90 kilogramos de clinker por kilogramo de crudo, deben ser alimentados continuamente por sus correspondientes depósitos de crudo: S1, S2 y S3. El llenado de los depósitos se debe realizar con material procedente de un único silo de crudo al que denominamos SCR.*

– *¿Cómo transportan ustedes el crudo desde el SCR hasta los depósitos?* – preguntó DEW, con voz serena, mientras sacaba de su carpeta la libreta que siempre llevaba consigo.

– *La salida del SCR* – continuó VON SAGGERSEN – *se debe conectar con un distribuidor (D), que sirve para derivar periódicamente el caudal de crudo a cada una de las tres cintas transportadoras, L1, L2 y L3, cuyos recorridos deben finalizar en sus respectivos depósitos de crudo. El SCR se debe alimentar directamente desde un sistema de molinos, M, dedicado a la molienda de la mezcla de pizarras y de caliza para conseguir el crudo...*

– *¡Vale!* – dijo KESUNO súbitamente – *Si no hemos entendido mal, ustedes desean que nos centremos en el diseño del subsistema para la alimentación de crudo ¿es así?*



– ¡Correcto!: Así es, para esta primera etapa ¿Necesitan ustedes algún dato más? – prosiguió VON SAGGERSEN, que parecía un tanto afectado por la interrupción.

– Pues sí – respondió KESUNO y acto seguido, VON SAGGERSEN cogía una hoja en blanco, pareciendo dispuesto a tomar nota –. *Para esta primera etapa, necesitamos conocer, por una parte, algunos datos técnicos como son las densidades de su crudo y de su clinker, además del material con el que desean construir los tres depósitos y el silo de crudo y, por supuesto, necesitamos algo más de información sobre los molinos para el crudo. Por otra parte, es conveniente que sepamos algunos datos operativos tales como la duración de la jornada laboral, el número de días laborables al año y su distribución en los doce meses, y, también, algo sobre costes y la política de mantenimiento que puede afectar al funcionamiento de los hornos y a la selección de los elementos del subsistema de alimentación de crudo.*

En esta fase de la conversación, DEW inicia una lista de temas pendientes de resolver, una vez haya sido compilada toda la información necesaria:

1. Determinar la producción máxima anual de clinker que puede ofrecer el subsistema a la salida de los hornos.
2. Preguntar sobre datos técnicos, económicos y operativos relacionados con diferentes tipos de molino y hacer una selección, para diseñar el sistema M, en función de los costes financieros que suponen la adquisición y el mantenimiento de los mismos.
3. Preguntar sobre los productos que ofrece la planta y la demanda de éstos.
4. Determinar la tasa de producción mínima de crudo que debe ofrecer el sistema de molinos M para posibilitar el abastecimiento de la demanda anual de cemento, y la tasa máxima de producción de crudo que corresponde a la capacidad máxima operativa de los hornos.

– *Vuelvo enseguida* – dijo VON SAGGERSEN cogiendo la hoja con sus anotaciones.

– *¿Un café?* – preguntó KEMALHO –. *¡Sí!* – respondieron DEW y OTTO casi al unísono.

Después de una pausa de 5 minutos, el señor VON SAGGERSEN entró por la puerta de la sala con una carga de papeles.

– *¡Aquí tienen!* – dijo VON SAGGERSEN con una sonrisa, dejando un conjunto de papeles sobre la mesa .

– *¡Muchas gracias!* – respondió DEW con otra sonrisa –. *¿Sería tan amable de hacernos un resumen?*

– *¡Por supuesto!, ya pensaba hacerlo* – replicó VON SAGGERSEN –. *¡Vamos por partes!:* *La densidad de nuestro crudo es en promedio de  $900 \text{ kg/m}^3$ , mientras que la de nuestro clinker es del orden de  $1300 \text{ kg/m}^3$ ; en cuanto al material que solemos emplear para la construcción de nuestros depósitos y silos de crudo es una chapa de hierro aleado, de producción nacional, de 16 mm de espesor y densidad superficial alrededor de  $125 \text{ kg/m}^2$ ; acostumbramos a trabajar con depósitos cilíndricos con diámetros comprendidos entre 20 m y 30 m y alturas no superiores a los 50 m, ¡ya saben, el viento polar...!* – exclamó VON SAGGERSEN señalando a la ventana, extendiendo su brazo.



– En cuanto a los molinos – prosiguió VON SAGGERSEN, dándole una hoja a OTTO –, nuestro suministrador en la región nos ha facilitado los datos de los 4 tipos de molino disponibles. Aquí los tiene Otto.

Modelo molino	Tasa de producción de crudo (Tm/h)	Coste mantenimiento con edad $t$ (um/año)	Coste de adquisición (um)	Coste por avería (um)	MTBF (meses)
A	400	$30000(t+0.1t^2)$	800000	40000	5
B	500	$40000(t+0.1t^2)$	900000	60000	7
C	600	$45000(t+0.1t^2)$	1000000	40000	4
D	700	$50000(t+0.1t^2)$	1200000	90000	8

**Tabla-1:** Datos sobre tipos de molino facilitados por Saggensen a Otto.

– Respecto al régimen de funcionamiento – continuó VON SAGGERSEN, mientras OTTO estudiaba atentamente los datos correspondientes a los molinos –, nuestro proceso trabaja, en principio, las 24 horas al día, ininterrumpidamente, exceptuando las paradas obligadas por mantenimiento, que son: medio mes cada tres meses para los hornos, dos días de revisión cada dos semanas para el sistema molino y para el distribuidor una semana al año.

– Y en cuanto al resto de datos – OTTO proseguía su profundo estudio –, los costes de mantenimiento de los depósitos y del silo se estiman en 1000 um por año y  $m^2$  de superficie. También tenemos unos costes por derivar el caudal con nuestro distribuidor (D), de hecho, por cada derivación, que nos lleva unas 6 horas entre movimientos y ajustes, gastamos en promedio 3000 um.

– Disculpe – intervino OTTO enérgicamente –, ¿hay que tener en cuenta en el proyecto de inversión para la selección del sistema molinos el MTBF?

– Por supuesto – contestó VON SAGGERSEN, a la pregunta de OTTO –, además les interesará saber que la ley de supervivencia de los molinos se ajusta adecuadamente a una ley exponencial y que nuestra compañía realiza los proyectos de inversión con horizontes de 10 años al 4% de interés anual.

En ese momento, DEW retomó la lista de temas pendientes y, por supuesto, a resolver:

5. Concretar el sistema molino en función de los costes financieros, de mantenimiento y avería, en sintonía con la capacidad de la planta.
6. Determinar la capacidad volumétrica de los depósitos S1, S2 y S3, y la del silo SCR para conseguir la producción máxima anual de clinker, teniendo en cuenta los costes de mantenimiento de los depósitos y del silo, así como los costes y el tiempo de derivación de caudal por parte del distribuidor.
7. Determinar el coste anual del sistema diseñado.
8. Determinar las cargas media y máxima que debe soportar una estructura común que sustente a los tres depósitos S1, S2 y S3 (hierro aleado más stock de crudo).
9. Diseñar el sistema de transporte de las cintas transportadoras L1, L2 y L3, estableciendo una velocidad aceptable para llevar el crudo hasta la boca de los depósitos.

– ¿Y sobre la renovación de los molinos, que nos puede decir? – preguntó KESUNO –.



VON SAGGERSEN, contestando a la pregunta de KESUNO dijo: – *Nuestra experiencia nos dice que el coste de mantenimiento de los molinos es creciente con su edad, tal como queda reflejado en la tabla que les entregué, y que el valor residual de estos equipos decrece con la edad debido al deterioro de las bolas. Normalmente y en promedio, el valor residual de cualquiera de nuestros molinos disminuye un 9% cada año con respecto al valor que tenía el año anterior. Por ello, también sería interesante, ya que lo comenta, que realizaran un estudio sobre este tema.*

De nuevo, tras esta intervención de KESUNO, DEW tomó la lista y añadió un nuevo y bonito problema:

10. Hacer un estudio individual de renovación de molinos, teniendo en cuenta los costes de mantenimiento y los valores residuales, considerando un horizonte de explotación limitado a 10 años y el tipo de interés anual empleado por la compañía.
11. Concretar de nuevo el sistema molino en función de los costes financieros, de mantenimiento y avería, en sintonía con la capacidad de la planta, teniendo en cuenta además los efectos de la renovación de equipos.

Después de realizar estas anotaciones, DEW revisó la lista y dió por concluido el punto 2, dándose cuenta de que aún quedaba pendiente la información relativa al punto 3. Obrando consecuentemente, DEW preguntó:

– *¿Podría suministrarnos información sobre los productos y sus demandas?*

– *De eso mismo quería hablarles – dijo VON SAGGERSEN, dándole una hoja a DEW –. Tenemos tres tipos de cemento, KVARTSI, ORTHOCLASE, KIILLE, cuyas proporciones másicas respecto a los componentes son las que figuran en la hoja que le he suministrado, cuya demanda anual es homogénea en el tiempo y se estima en  $5 \cdot 10^9$  kg.*

Tipo cemento	Clinker (%)	Puzolana (%)	Yeso (%)	Otros (%)	% sobre la demanda total
KVARTSI	60	35	2	3	50
ORTHOCLASE	62	33	3	2	30
KIILLE	64	30	4	2	20

**Tabla-2:** Datos sobre productos y demandas facilitados por Saggensen a Dew.

DEW siguió ampliando su lista y agradeció con una sonrisa la información proporcionada.

12. Establecer un ciclo de trabajo anual planificando las paradas de los hornos y molinos e indicando las producciones aproximadas de clinker y crudo mes a mes.

– *Hasta aquí, pienso que están sobre la mesa todos los datos correspondientes a la primera etapa del trabajo – dijo VON SAGGERSEN con cara de satisfacción –, ahora hablaremos del proceso de ensacado del cemento.*

– *Disponemos de una planta de ensacado de cemento con una capacidad de embasado de 15000 toneladas en cada turno de 8 horas. Tenemos 4 tipos de turnos, el primero, correspondiente al régimen normal de funcionamiento, nos representa un coste de 30000 um; el segundo turno, el de la tarde, cuesta 10000 um adicionales, respecto al primero; el tercer turno, o de noche, supone un coste de 50000 um; y, finalmente, tenemos la posibilidad de abrir un turno el sábado por la mañana, en cuyo caso el coste operativo es 60000 um. En caso de no tener capacidad suficiente, podemos generar stock en periodos anteriores con un*



coste de 100 um por tonelada de cemento ensacado y por mes, aunque existe un pequeño inconveniente y es que debido a nuestras condiciones climatológicas, la masa de cemento almacenada en un determinado momento sufre unas mermas del 10% después de un mes.

– Nos gustaría que hicieran la planificación de ensacado para el próximo año. Por cierto, nuestro calendario laboral es este – concluyó VON SAGGERSEN acercándole el calendario a DEW.

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Días laborables	20	18	21	20	22	23
Mes	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Días laborables	20	11	22	20	18	5

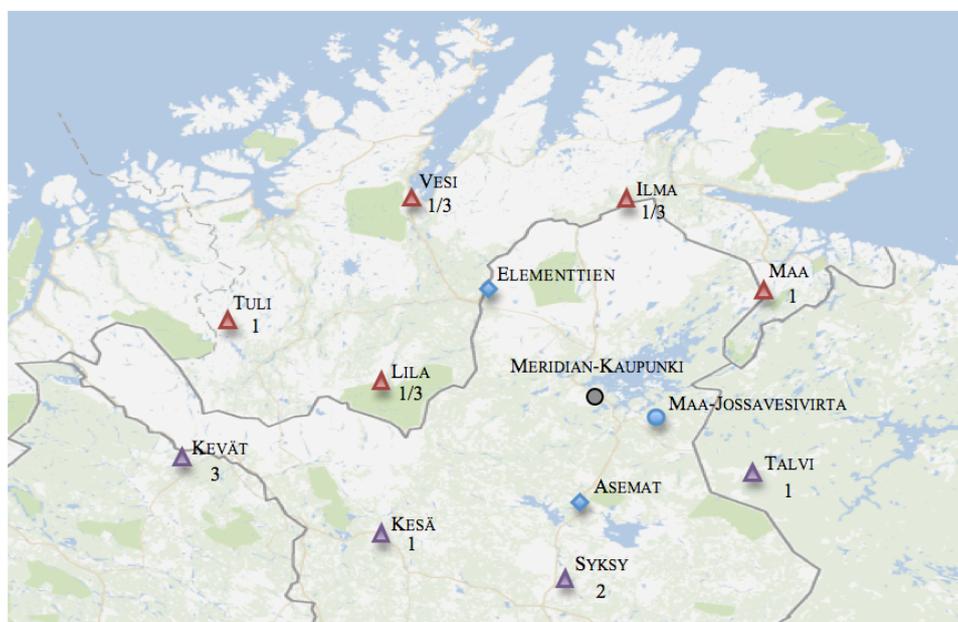
**Tabla-3:** Calendario laboral para el próximo año.

En ese momento DEW volvió a anotar en su libreta una nueva tarea:

13. Establecer un plan de producción de ensacado de cemento, teniendo en cuenta los costes de producción de los turnos de trabajo, los costes de stock, las mermas y el calendario laboral.
14. Determinar las necesidades temporizadas de los componentes del cemento para llevar a cabo el plan de producción definido en el punto anterior.

– ¡Sospecho que podemos dar por concluida la colecta de datos correspondiente a la segunda etapa de nuestra colaboración! – intervino KEMALHO – ¿Existe una tercera?

Efectivamente, doctor KESUNO – fue la respuesta de VON SAGGERSEN –. Decirles que nuestro producto final, se reparte a dos centros de distribución. Concretamente, el 70% de la demanda total va al centro situado en la ciudad de ASEMAT y el 30% restante al de ELEMENTTIEN. El primero de los centros, abastece a las ciudades del sur, mientras que el segundo a las ciudades del norte. [...]



**Fig.1** Situación Geogr. fíca de los principales clientes (triángulos), los centros de distribución (rombos) y la fábrica de cemento (redonda azul). Proporción de consumo, respecto a la demanda del centro de distribución correspondiente a cada cliente. Distancia entre Meridian-Kaupunki y Maa-Jossavesivirta 100 km.



[...] *En el mapa que les facilito pueden ver la situación de cada cliente, así como la proporción de cemento, respecto a la demanda de su centro de distribución, que requiere cada una de ellas. Tienen que tener en cuenta que las proporciones globales de tipos de cemento, 50%, 30% y 20%, se mantienen en cada cliente y en cada centro. Nuestra duda es si nuestra localización y la de nuestros centros de distribución son los más favorables en cuanto a costes.*

Tras esta explicación, DEW, retomó de nuevo la lista anotando los siguientes puntos:

15. Determinar la localización óptima de la planta y los centros de distribución y evaluar la inversión máxima para llevar a cabo el traslado a dicha localización.
16. Definir un plan asociado al desarrollo del proyecto de traslado de la planta y la duración del mismo.

Mientras tanto, Otto observaba el mapa en estado de concentración y decidió intervenir: – *Supongo que para llevar el cemento a sus clientes, tendrán ustedes un sistema de distribución física, es decir, tendrán unos itinerarios habituales para transportar los sacos desde la planta hasta los puntos de destino, ¿nos los podrían facilitar?*

– *Me alegro mucho de que me haga esta pregunta* – respondió VON SAGGERSEN –. *Una de las cosas que tenemos pendientes y que nos gustaría solucionar es el diseño de las rutas más adecuado para reducir al máximo nuestros costes de distribución. Les informo: nuestra flota de transporte, ¡suficiente!, se compone de vehículos que pueden transportar hasta un máximo de 30 toneladas de carga y hacen un reparto diario en función de la demanda que se distribuye homogéneamente a lo largo de los 365 días del año. La única limitación que tenemos es que cada 500 km el transportista debe tomarse un descanso de 1 hora.*

De nuevo DEW tomó nota:

17. Determinar el número mínimo de vehículos necesarios para la entrega del cemento y diseñar las rutas, considerando la capacidad máxima de los vehículos, los costes de transporte (directamente proporcionales al cuadrado de la distancia) y las limitaciones impuestas a los transportistas. Para ello, evaluar cada uno de los siguientes casos:
  - a. Transportar el cemento desde la planta a los centros de distribución y desde éstos a los clientes, teniendo en cuenta la localización actual y la localización óptima.
  - b. Transportar desde la planta a los clientes finales, sin tener en cuenta los centros de distribución, también para ambos casos.
18. Analizar los resultados ofrecidos por distintos procedimientos (inserción, constructivos y de dos fases) en relación a los puntos anteriores.

– *En cuanto a la logística, queda claro* – continuó OTTO –, *pero nos gustaría saber algo más sobre la carga de vehículos en la planta para llevar el cemento a sus clientes.*

– *¡Ah!* – exclamó VON SAGGERSEN –. *Nuestra dinámica sobre este tema es muy sencilla: podemos habilitar hasta un total de 12 muelles y cada uno de ellos puede recibir un camión cada 3 minutos en promedio, que es lo que está sucediendo en estos momentos. Uno de nuestros equipos tarda un tiempo medio de 12 minutos en cargar un camión de 30 toneladas y normalmente empleamos 5 equipos por muelle.*



Después de esta intervención, DEW volvió a anotar y concretar:

19. Determinar el número de muelles necesarios, en régimen permanente, para satisfacer las necesidades de carga. También, determinar el número medio de camiones en cola y en servicio simultáneamente en cada muelle, suponiendo que tanto el tiempo entre llegadas como el de carga de un camión siguen una ley exponencial.

20. Simular los acontecimientos que tienen lugar en un muelle de carga durante 2 horas.

– *¿Alguna cosa más, señor VON SAGGERSEN?* – volvió a preguntar KEMALHO.

– *Sí* – saltó inmediatamente VON SAGGERSEN –, *estamos pensando en llevar a cabo un sistema de comunicación digital terrestre con todos nuestros clientes y colaboradores. Por ello, hemos pensado que una red que permita la transferencia de datos entre todos nosotros sería muy interesante para mejorar las prestaciones de nuestros sistemas de información. En estos momentos no sabemos como afrontar el problema, pero seguro que a ustedes se les ocurre alguna cosa. Obviamente, en esta red debe estar presente también nuestro cuartel general de operaciones situado en MERIDIAN-KAUPUNKI.*

Y DEW seguía anotando:

21. Determinar la red de cableado más adecuada.

– *Un problema sencillo* – replicó KEMALHO –, *Sería más estimulante para nosotros, una vez establecida la red de comunicaciones, determinar la caída de la señal digital desde dónde deseen localizar el host hasta el resto de puntos de la red. Por cierto ¿dónde localizarían el host?*

– *Pues no lo hemos pensado* – contestó VON SAGGERSEN –, *pero sólo existen dos opciones razonables y políticamente correctas: en nuestra planta o en nuestro cuartel general.*

– *Esto nos parece ya más estimulante* – comentó KEMALHO –, *Para la caída de la señal emplearemos una función de atenuación exponencial con parámetro  $7 \cdot 10^{-4} \text{ km}^{-1}$  y si es necesario, localizaremos en los puntos que lo requieran amplificadores para conseguir que la calidad de la señal no sea inferior al 80%.*

DEW, en esta ocasión estimulada, cogió su lápiz y anotó:

22. Buscar la mejor alternativa para la localización del host, minimizando la máxima pérdida de señal.

23. Buscar la mejor alternativa para la localización del host, minimizando el número de amplificadores para conseguir que la recepción en todos los destinos sea al menos del 80% de la señal original.

24. Plantear un programa matemático para el problema descrito en el punto anterior.

– *Supongo que con esto podemos dar por concluida esta sesión* – sugirió KEMALHO.

– *Sí, desde el punto de vista táctico y operativo* – afirmó VON SAGGERSEN –, *pero no desde el punto de vista estratégico. En efecto, un proyecto futuro consistiría en trasladar parte de la capacidad de la planta de producción actual a dos nuevas plantas que estarían ubicadas una en ELEMENTTIEN y la otra en un punto equidistante a las ciudades de TULI, LILA y KEVÄT, sin que ninguna de las dos nuevas plantas supere el 35% de la demanda total.*



*Esto supondría la eliminación de los actuales centros de distribución, situados en ELEMENTTIEN y ASEMAT y por tanto, servir el cemento a los clientes finales.*

*– Nos gustaría disponer de una herramienta que nos permitiera reorganizar el sistema de producción y distribución conjuntamente.*

DEW, muy animada ante esta solicitud, retomó la lista enérgicamente:

25. Plantear un programa lineal para configurar la producción y la distribución ante el nuevo proyecto, con el propósito de satisfacer la demanda al mínimo coste.
26. Determinar el plan de transporte en caso de repartir la demanda de producción actual entre las 3 plantas, el 35% para ELEMENTTIEN, el 40% para la planta actual y el resto para la tercera planta.

*– Y pienso que esto es todo por el momento, al menos por mi parte –* dijo VON SAGGERSEN.

*– Pues muy bien, por nuestra parte encantados de poder ayudarles –* contestó KESUNO –. *¡Nos ponemos a trabajar en ello!*

A la mañana siguiente, DEW, OTTO y KEMALHO se apresuraban rápidamente a la estación para tomar el tren de vuelta a casa. Una vez en los asientos, un tanto jadeantes, DEW volvió a acercarse su cara a la ventanilla y exclamó – *¡Maravilloso paisaje, volveremos... sin duda alguna!*



## **DISEÑO DE SISTEMAS PRODUCTIVOS Y LOGÍSTICOS: EL ECLÉCTICO CASO VON SAGGERSEN - LÖGRYSEN**

### **Lista de temas a resolver:**

1. Determinar la producción máxima anual de clinker que puede ofrecer el subsistema a la salida de hornos.
4. Determinar la tasa de producción mínima de crudo que debe ofrecer el sistema de molinos M para posibilitar el abastecimiento de la demanda anual de cemento, y la tasa máxima de producción de crudo que corresponde a la capacidad máxima operativa de los hornos.
5. Concretar el sistema molino en función de los costes financieros, de mantenimiento y avería, en sintonía con la capacidad de la planta.
10. Hacer un estudio individual de renovación de molinos, teniendo en cuenta los costes de mantenimiento y los valores residuales, considerando un horizonte de explotación limitado a 10 años y el tipo de interés anual empleado por la compañía.
11. Concretar de nuevo el sistema molino en función de los costes financieros, de mantenimiento y avería, en sintonía con la capacidad de la planta, teniendo en cuenta además los efectos de la renovación de equipos.
15. Determinar la localización óptima de la planta y los centros de distribución y evaluar la inversión máxima para llevar a cabo el traslado a dicha localización.
17. Determinar el número mínimo de vehículos necesarios para la entrega del cemento y diseñar las rutas, considerando la capacidad máxima de los vehículos, los costes de transporte (directamente proporcionales al cuadrado de la distancia) y las limitaciones impuestas a los transportistas. Para ello, evaluar cada uno de los siguientes casos:
  - a. Transportar el cemento desde la planta a los centros de distribución y desde éstos a los clientes, teniendo en cuenta la localización actual y la localización óptima.
  - b. Transportar desde la planta a los clientes finales, sin tener en cuenta los centros de distribución, también para ambos casos.
18. Analizar los resultados ofrecidos por distintos procedimientos (inserción, constructivos y de dos fases) en relación a los puntos anteriores.



## MÉTODOS CUANTITATIVOS DE ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL: EL ECLÉCTICO CASO VON SAGGERSEN - LÖGRYSEN

### Lista de temas a resolver:

1. Determinar la producción máxima anual de clinker que puede ofrecer el subsistema a la salida de hornos.
4. Determinar la tasa de producción mínima de crudo que debe ofrecer el sistema de molinos M para posibilitar el abastecimiento de la demanda anual de cemento, y la tasa máxima de producción de crudo que corresponde a la capacidad máxima operativa de los hornos.
19. Determinar el número de muelles necesarios, en régimen permanente, para satisfacer las necesidades de carga. También, determinar el número medio de camiones en cola y en servicio simultáneamente en cada muelle, suponiendo que tanto el tiempo entre llegadas como el de carga de un camión siguen una ley exponencial.
20. Simular los acontecimientos que tienen lugar en un muelle de carga durante 2 horas.
21. Determinar la red de cableado más adecuada.
22. Buscar la mejor alternativa para la localización del host, minimizando la máxima pérdida de señal.
23. Buscar la mejor alternativa para la localización del host, minimizando el número de amplificadores para conseguir que la recepción en todos los destinos sea al menos del 80% de la señal original.
24. Plantear un programa matemático para el problema descrito en el punto anterior.
25. Plantear un programa lineal para configurar la producción y la distribución ante el nuevo proyecto, con el propósito de satisfacer la demanda al mínimo coste.
26. Determinar el plan de transporte en caso de repartir la demanda de producción actual entre las 3 plantas, el 35% para ELEMENTTIEN, el 40% para la planta actual y el resto para la tercera planta.



## **ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL: EL ECLÉCTICO CASO VON SAGGERSEN - LÖGRYSEN**

### **Lista de temas a resolver:**

1. Determinar la producción máxima anual de clinker que puede ofrecer el subsistema a la salida de hornos.
4. Determinar la tasa de producción mínima de crudo que debe ofrecer el sistema de molinos M para posibilitar el abastecimiento de la demanda anual de cemento, y la tasa máxima de producción de crudo que corresponde a la capacidad máxima operativa de los hornos.
5. Concretar el sistema molino en función de los costes financieros, de mantenimiento y avería, en sintonía con la capacidad de la planta.
6. Determinar la capacidad volumétrica de los depósitos S1, S2 y S3, y la del silo SCR para conseguir la producción máxima anual de clinker, teniendo en cuenta los costes de mantenimiento de los depósitos y del silo, así como los costes y el tiempo de derivación de caudal por parte del distribuidor.
7. Determinar el coste anual del sistema diseñado.
8. Determinar las cargas media y máxima que debe soportar una estructura común que sustente a los tres depósitos S1, S2 y S3 (hierro aleado más stock de crudo).
9. Diseñar el sistema de transporte de las cintas transportadoras L1, L2 y L3, estableciendo una velocidad aceptable para llevar el crudo hasta la boca de los depósitos.
12. Establecer un ciclo de trabajo anual planificando las paradas de los hornos y molinos e indicando las producciones aproximadas de clinker y crudo mes a mes.
13. Establecer un plan de producción de ensacado de cemento, teniendo en cuenta los costes de producción de los turnos de trabajo, los costes de stock, las mermas y el calendario laboral.
14. Determinar las necesidades temporizadas de los componentes del cemento para llevar a cabo el plan de producción definido en el punto anterior.
15. Determinar la localización óptima de la planta y los centros de distribución y evaluar la inversión máxima para llevar a cabo el traslado a dicha localización.
16. Definir un plan asociado al desarrollo del proyecto de traslado de la planta y la duración del mismo.



## *Relato 2*

# RETORNO A MERIDIAN-KAUPUNKI

2011-2012 Q2



**DOE**

[www.prothius.com](http://www.prothius.com)

## RETORNO A MERIDIAN-KAUPUNKI

– *¡Qué luna!* – exclamó DEW, mirando al cielo y acercando su rostro a la ventanilla mientras el TRANS-LAPONIANO se dirigía, como siempre, lentamente hacia la estación de MERIDIAN-KAUPUNKI.

Aquella noche, a las nueve, DEW LIGHTHOUSE-WELL, OTTO VON WEIßHAAR-PETERSEN y KEMALHO KESUNO, tenían una cita con el ingeniero FRANZ VON SAGGERSEN y el también ingeniero, recuperado para la profesión, WILHELM LÖGRYSEN, que había abandonado sabiamente sus funciones políticas.

Esta vez, la visita de nuestros amigos se debía a una solicitud de asesoramiento relacionada con diversos proyectos que habían sido asignados a los dos expertos en ingeniería de organización por la compañía en la que trabajaban, LÖGRERSEN CONSULTING.

Durante la cena de aquella misma noche, compuesta por platos y caldos tradicionales de la región, FRANZ, WILHELM, DEW, OTTO Y KEMALHO dedicaron parte de su tiempo, no sólo a la cata líquida y sólida, sino también a planificar la sesión que tendría lugar al día siguiente a la nueve en punto de la mañana.

Las oficinas de LÖGRERSEN CONSULTING tenían unas espléndidas vistas del lago helado de la ciudad de VESI. Nuestros amigos, FRANZ y WILHELM, asistieron a la reunión a la hora prevista, llevando consigo este último las anotaciones que sobre un mantel habían esbozado la agradable noche anterior.

– *¡Comenzamos la reunión!* – dijo enérgicamente WILHELM, a pesar de la cata de licores de algas –. *Dispongo de los informes que me ha facilitado la compañía VESI WATER TREATMENT LTD, os leo:*

– *Los sistemas empleados por VESI WATER TREATMENT LTD, para la fabricación de tuberías y accesorios de PRFV (Poliéster Reforzado en Fibra de Vidrio) son el FW (Filament Winding) y el HLU (Hand Lay Up)... El HLU consiste en la disposición manual sobre el molde de sucesivas capas de tejidos sintéticos saturadas de resina, hasta obtener el espesor de piezas y tuberías... y el FW se basa en el procedimiento de fabricación por enrollamiento de hilos sintéticos continuos sobre un molde que gira sobre su eje.*

– *Como podéis ver en la foto del FW que os paso, un carro de traslación incorpora fibra de vidrio, resina y cargas inertes, de forma seriada y automática.*

– *En cuanto a los productos, podemos decir que la empresa comercializa tres gamas básicas: (1) tubos de PRFV; (2) codos mitrados y (3) bridas moldeadas por contacto... Aquí tenéis más fotos –. Dijo WILHELM.*



**VESI WATER TREATMENT LTD**  
Sistemas de Fabricación

---

**Sistema de fabricación Filament Winding (FW).**

Fabricación de tubos de fibra de vidrio a partir del enrollamiento de hilos sintéticos continuos sobre un molde que gira sobre su eje.

La incorporación de la fibra de vidrio, resina y otras cargas inertes se realiza a través del carro de







– ¡Por cierto FRANZ! – exclamó WILHELM. – ¿Podrías trabajar tú también un poco, no? ¿Nos explicas algo sobre los procesos? –

– Por supuesto – contestó FRANZ –. Los tubos PRFV se laminan en la máquina de enrollado de fibra automática, la de la foto que os ha pasado WILHELM, una vez colocado el molde apropiado para la FW. Cuando el proceso de enrollado acaba, la pieza espera en la estación de secado hasta que adquiere rigidez suficiente para desmoldear el tubo. Una vez extraído el tubo, éste se estaciona en la zona de fraguado. Posteriormente se realiza una inspección in situ para verificar la aparición de grietas y por último se almacena.

– En cuanto a los codos mitrados se puede decir que son partes de un tubo de PRFV unidos. Es decir, después de realizar el desmoldeo, se cortan los trozos en ángulo y se laminan manualmente para unirlos formando el codo. Después pasa a la estación de fraguado hasta que se inspecciona. Antes de almacenarlo, se efectúa una operación de pulido para eliminar rebabas.

– Por último, a diferencia de los anteriores, la brida se fabrica a partir de un tubo fabricado con el sistema HLU, dejándolo secar y desmoldeándolo posteriormente. Una vez obtenido el tubo, se pasa otra vez a la estación de laminación manual para dar forma al ala de la brida. Posteriormente pasa a la estación de fraguado y se inspecciona. Después de pulir las rebabas, se taladra el ala para poder ser atornillada cuando se haga una instalación. Finalmente se almacena.

– ¡Por cierto! – exclamó FRANZ con contenida fanfarria –, tanto la estación de secado como la de desmoldeo son comunes a todos los productos, como ya debéis saber.

– ¡Muy bien! – interrumpió KESUNO – ¿nos podrían decir qué quieren ustedes realmente? Tengo la sensación de que la conversación que tuvimos ayer durante la cena, con planificación incluida, tiene poco que ver con las sabias explicaciones con las que nos han estado deleitando durante los tres últimos cuartos de hora.

DEW, atenta a esta súbita interrupción, aprovechó el momento para sacar de su bolso su inseparable libreta.

– ¡FRANZ! – intervino DEW con una sonrisa –, ayer nos hablasteis de cuatro proyectos, ¿qué te parece si empezamos por el primero: el que vosotros preferáis?

– Disculpad queridos amigos – respondió FRANZ con voz quebrada –, empezaremos con el proyecto de la nueva planta.



– *Estupendo FRANZ, veo que vuelve a florecer en ti la sensatez a la que nos tienes acostumbrados* – replicó KESUNO –.

– *Os resumo* – prosiguió FRANZ –, *actualmente la planta, localizada en VESI, dispone de una capacidad global igual a 30000 unidades al año, no obstante, durante los próximos años prevemos un incremento de la demanda global anual... Os concreto, aquí tenéis la tabla que refleja las previsiones de demanda de las tres gamas básicas. La demanda de cada gama se reparte equitativamente entre los productos que la componen* – dijo FRANZ acercando a los reunidos el dossier del proyecto NEUES WERK.

		<b>VESI WATER TREATMENT LTD</b>		Pág. 7	
		<i>Dossier Proyecto: NEUES WERK</i>			
Demanda prevista para los próximos 5 años:					
	<b>Año 1</b>	<b>Año 2</b>	<b>Año 3</b>	<b>Año 4</b>	<b>Año 5</b>
<b>Tubos PRFV [ud]</b>	20000	21000	22500	23000	24200
<b>Codos mitrados [ud]</b>	12500	13200	14200	14000	15000
<b>Bridas [ud]</b>	7000	7500	8000	8700	9500
Datos cualitativos de las opciones de inversión:					
	<b>VESI</b>	<b>SYKSY</b>	<b>NEUES WERK</b>		
<b>Inversión</b>	-	-	15000000		
<b>Coste fijo [um/año]</b>	960000	1000000	1000000		
<b>Coste variable tubos PRFV [um/ud]</b>	3648	3800	3650		
<b>Coste variable Codos [um/ud]</b>	2976	3100	3000		
<b>Coste variable Bridas [um/ud]</b>	1584	1650	1600		
<b>Capacidad producción tubos PRFV [ud/año]</b>	15000	15000	22500		
<b>Capacidad producción Codos [ud/año]</b>	10000	10000	15000		
<b>Capacidad producción Bridas [ud/año]</b>	5000	5000	7500		
<b>Precio de venta tubos PRFV [um/ud]</b>	3850				
<b>Precio de venta Codos [um/ud]</b>	3200				
<b>Precio de venta Bridas [um/ud]</b>	1700				

– *Para solventar este problema, estamos barajando dos alternativas. La primera consiste en desviar la producción a una fábrica localizada en SYKSY de igual capacidad. La segunda, consiste en construir una nueva fábrica con una capacidad igual a 45000 unidades anuales. Podéis encontrar los datos cualitativos de ambas opciones en el dossier que os acabo de entregar* – concretó FRANZ.

– *¿Te refieres a los datos de la página 7?* – preguntó OTTO –. *¡Evidentemente!* – respondió WILHELM rápidamente adelantándose a una contestación tan asertiva como la que podría haber dado FRANZ.

– *¡Uy qué frío que hace aquí!* – Interrumpió DEW con un golpe de melena –. *Si quieres puedes poner en marcha la calefacción, WILHELM.*



Inmediatamente WILHELM entendió la razonable petición y se dirigió a la pared donde estaba el interruptor del calefactor central. Mientras tanto, DEW, sin perder el tiempo entre tanta gallardía, empezó a anotar en su cuaderno de bitácora:

1. Evaluar las diferentes alternativas para afrontar el problema del aumento de la demanda en los próximos cinco años. Suponer para ello un tipo de interés anual de 4%.

– ¿Sabéis dónde se localizará la nueva planta en caso de que se opte por la segunda opción? – preguntó DEW.

No lo sabemos – contestó FRANZ –, pero sería una buena idea determinar una localización adecuada para la nueva planta, teniendo en cuenta las demandas y disposición en el mapa de los clientes.



– ¿Te refieres al mapa de la página 8 del dossier? – dijo DEW mientras tomaba nota en su añejo cuaderno:

2. Determinar la posición óptima de la nueva planta, teniendo en cuenta la demanda de los clientes y el precio de venta de los productos.

Esperando a que DEW terminara sus anotaciones, intervino KESUNO – También nos hablasteis ayer de la planificación de la producción para el próximo año, o sea el año 1 de la tabla de demanda que aparece en la página 7 del dossier. Lo primero... queremos saber el número de días de producción anual en cada planta.

– Déjame a mí – contestó WILHELM un tanto más tranquilo –. En cuanto al número de días de producción, todas las plantas trabajan 240 días al año. No obstante, el número de días laborables mensual difiere según nuestras costumbres. Como ya sabéis nuestro



*calendario comienza en el mes de julio, coincidiendo con el inicio del día polar, que dura seis meses. Durante nuestro día polar todas nuestras plantas, estén donde estén, trabajan 25 días al mes, mientras que durante la noche polar, los meses pares se trabaja 25 días en las plantas del norte y 5 en las del sur, mientras que en los meses impares es al revés... y ya sabéis, lo cortés no quita lo valiente, ninguno de nosotros se pierde nuestra semestral fiesta de Alvanuit, aunque sea intermitentemente – concluyó WILHELM con una sonrisa centelleante.*

*– Muy inteligente tu observación, mi querido WILHELM. Lo segundo y último – prosiguió KESUNO –, también necesitamos los costes de fabricación, los costes de mantenimiento y los costes de ruptura en cada planta... ¿Qué nos podéis decir al respecto?*

*– Iba a decíroslo ahora mismo – dijo WILHELM carraspeando –, tal como podéis observar en la página 7 del dossier, el coste de producción de la planta de VESI es el 4% más barato que el de la planta de SYKSY. La tasa de mantenimiento en el norte, sobre el precio de venta, es de un 30% anual, mientras que en el sur es del 20% y las tasas de rotura las evaluamos al triple de las de posesión. ¿Necesitáis algo más?*

*– ¡Evidentemente!... ¿Qué hay de la demanda? – preguntó OTTO un tanto engrandecido, e inmediatamente WILHELM respondió – Es idéntica para cada mes y homogénea en el tiempo para las tres gamas básicas de productos, y la política de la empresa es que tengamos un stock al inicio de cada periodo correspondiente a la demanda de un mes. ¡Eso sí! Siempre nos cubrimos las espaldas con un stock de seguridad del 10% .*

*– ¿Estás seguro de las características de la demanda? – Preguntó DEW – ¡Por supuesto! – respondió WILHELM.*

Tras esta brevísima conversación DEW vuelve a anotar:

3. Determinar el plan de producción con tasas de fabricación constantes y sin rupturas para el año 1.
4. Comparar dicho plan, cuantitativa (costes: aspectos económicos) y cualitativamente (fortalezas y debilidades), con otro de tasas de fabricación constantes con rupturas.
5. Planificar la producción para el año 1, con el objetivo de minimizar los costes globales de fabricación, mantenimiento y rupturas.
6. Establecer un plan de producción sin rupturas con tasas de fabricación constantes y distintas para cada una de las épocas del año (día y noche polar) y seleccionar la opción definitiva.

*También nos hablasteis del cálculo de necesidades de materiales, – prosiguió OTTO – ¿os parece bien que determinemos el plan de aprovisionamiento de logística de materiales para las 12 primeras semanas del año?*

*Excelente idea OTTO – replicó WILHELM – la lista de materiales, el maestro de artículos y el status de aprovisionamientos y stocks, lo encontrareis a partir de la página 12 del dossier.*

Implacable como siempre, DEW retoma su lista de notas:

7. Determinar el plan de aprovisionamiento de materiales correspondiente al plan de producción con tasas de fabricación constantes y sin rupturas para el año 1.



8. Determinar el plan de aprovisionamiento de materiales correspondiente al plan de producción con tasas de fabricación constantes y con rupturas para el año 1.
9. Determinar el plan de aprovisionamiento de materiales correspondiente al plan de producción para el año 1 cuyo objetivo es minimizar los costes globales de fabricación, mantenimiento y rupturas.
10. Determinar el plan de aprovisionamiento de materiales correspondiente a un plan de producción sin rupturas, con tasas de fabricación constantes y distintas para cada una de las épocas del año (día y noche polar).
11. Analizar conjuntamente las ventajas e inconvenientes de los cuatro planes globales de producción y aprovisionamiento determinados anteriormente. Seleccionar uno de ellos (multicriterio).
12. Analizar conjuntamente las ventajas e inconvenientes del plan de aprovisionamiento de materiales y su plan director de producción sin rupturas, con tasas de fabricación constantes y distintas para cada una de las épocas del año (día y noche polar).



**VESI WATER TREATMENT LTD**  
Dossier Proyecto: NEUES WERK

Pág. 12

Estructura de los productos:

Prod.	T1	T2	T3	T4 <sup>1</sup>	T5 <sup>1</sup>	T6 <sup>1</sup>	Soldadura <sup>2</sup>
Velo [ml]	100	160	220	150	170	200	7,5
Resina viniléster [l]	0	0	0	40	65	80	0
Resina bisfenólica [l]	50	70	100	0	0	0	0
Roving [ml]	1000	1500	2200	2000	2500	3000	100
Mat [ml]	200	200	200	100	100	100	5
Arena [kg]	300	700	1300	0	0	0	0
Resina poliéster [l]	400	650	750	900	0	100	45
Resina Epoxi [l]	0	0	400	300	500	750	0

<sup>1</sup> De cada tubo PRFV de la familia COR (T4, T5, T6) se obtienen 6 codos o 12 bridas, de diámetro correspondiente al tubo (C4, C5, C6 o B4, B5, B6).

<sup>2</sup> Para realizar cualquier tipo de codo (C4, C5 o C6) se requieren 2 soldaduras.

Maestro de artículos y estado de stock y aprovisionamientos previstos:

Prod.	Elaboración	Plazo	Lote	Stock de seguridad	Stock <sup>3</sup>	Aprov. previstos
Velo [ml]	Aprov.	4 sem	1	1 sem	1 mes	-
Resina viniléster [l]	Aprov.	4 sem	1	1 sem	1 mes	-
Resina bisfenólica [l]	Aprov.	4 sem	1	1 sem	1 mes	-
Roving [ml]	Aprov.	4 sem	1	1 sem	1 mes	-
Mat [ml]	Aprov.	4 sem	1	1 sem	1 mes	-
Arena [kg]	Aprov.	4 sem	1	1 sem	1 mes	-
Resina poliéster [l]	Aprov.	4 sem	1	1 sem	1 mes	-
Resina Epoxi [l]	Aprov.	4 sem	1	1 sem	1 mes	-
T1, T2, T3, T4, T5, T6	Fabricación	2 sem	1	10%	1 mes	834
C4, C5, C6	Fabricación	1 sem	6	10%	1 mes	522
B4, B5, B6	Fabricación	1 sem	12	10%	1 mes	300

<sup>3</sup> La política de empresa determina un stock inicial por periodo de planificación de todos los productos y componentes igual a lo correspondiente para abastecer la demanda de un mes.



– *Veo* – dijo KESUNO tomando la palabra –, *que en la página 13 del dossier, aparece la descripción de las dos familias de tuberías PRFV con las especificaciones técnicas para los productos. Esta información nos parece muy interesante, pero ¿nos sirve para algo en cuanto a las tareas que habéis tenido a bien en encargarnos?*



**VESI WATER TREATMENT LTD**

Dossier Proyecto: NEUES WERK

Pág. 13

Familias de Productos:

- SAND: tubería de resinas termoestables reforzadas con fibra de vidrio (PRV) y cargas inertes de arena en la capa estructural, fabricada por el proceso de enrollamiento continuo o filament winding cruzado.
- COR: tubo de resinas termoestables (poliéster, viniléster, etc.) reforzados con fibra de vidrio (PRFV) formuladas para resistir la corrosión de una amplia gama de productos químicos.

Especificaciones técnicas:

Ref.	Familia	Diámetro [mm]	Longitud [m]
T1	SAND	400	12
T2	SAND	800	12
T3	SAND	1200	12
T4	COR	400	12
T5	COR	800	12
T6	COR	1200	12

Ref.	Familia	Diámetro [mm]
C4	COR	400
C5	COR	800
C6	COR	1200
B4	COR	400
B5	COR	800
B6	COR	1200

– *¡Claro que sí!* – contestó FRANZ – *Se trata de la descripción de los productos. – ¿Y? – respondió KESUNO –. Son los productos que se fabrican en nuestro taller, LFDm, compuesto por cuatro máquinas, dispuestas en serie, o sea la Liner, Filament Winding, Demolding y la Machining, de las que hablamos anoche – prosiguió FRANZ.*



**VESI WATER TREATMENT LTD**

Dossier Proyecto: NEUES WERK

Pág. 14

Maquinaria:



*M1: Liner Machine.* Máquina de enrollado de velo impregnado en resina (isofaltálica, viniléster, bisfenólica) que forma la superficie interior anticorrosiva del tubo con un espesor aproximado de 1.5 mm.

*M2: Filament Winding Machine* (máquina para capa estructural). Máquina de enrollado de fibras de vidrio y/o cargas inertes impregnadas con resina poliéster/epoxy con un espesor de hasta 25 mm.



*M3: Demolding Machine* (máquina de extracción de molde). Máquina dotada con garras hidráulicas para la extracción del tubo acabado de su propio molde.

*M4: Machining Machine* (mecanizadora). Máquina para cortar los extremos banales, eliminación de rebabas e impurezas superficiales.



*M5: Quality Control* (máquina de ultrasonidos para la detección de grietas). Máquina dotada de un sistema giratorio de ultrasonidos que permite detectar posibles grietas en el interior de la capa estructural. La dificultad de este tipo de análisis de defectos depende directamente del diámetro del tubo analizado.



**DOE**

www.prothius.com

– *¡Qué estupenda explicación sobre las máquinas, que aparece en la página 14! ¿Y? – preguntó de nuevo KESUNO – ¡Bueno! También tenéis la tabla de tiempos de proceso en la página 15 – respondió WILHELM a KESUNO.*

		<b>VESI WATER TREATMENT LTD</b>					Pág. 15
		<i>Dossier Proyecto: NEUES WERK</i>					
Tiempos de fabricación de los tubos en cada máquina (minutos):							
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	
M1	8	9	10	10	8	9	
M2	12	15	16	14	16	18	
M3	6	7	8	8	7	4	
M4	4	6	5	7	5	3	

– *Sin duda, esta información nos parece más útil para nuestros propósitos – corroboró KESUNO y preguntó – ¿Tenéis tiempo de preparación para pasar de un producto a otro?*

– *¡Por supuesto! – replicó FRANZ – Cada vez que cambiamos de producto nos lleva un tiempo de 10 minutos para el ajuste de máquinas y las piezas las hacemos de 25 en 25 unidades y no pasamos a la siguiente máquina hasta concluir el lote.*

– *¡Bien! Nos vamos acercando. Supongo que lo que pretendéis es minimizar el tiempo de ocupación del taller cuando fabricamos seis lotes, uno de cada tipo de tubo – aclaró KESUNO.*

Sin dilación alguna, DEW toma más notas:

13. Empleando diversos procedimientos de resolución, determinar secuencias de lotes de productos que minimicen  $C_{max}$ . Despreciar los tiempos de preparación, como consecuencia de que los lotes de fabricación son de 25 unidades que coincide con los de transferencia.

– *Pero ayer nos dijisteis que teníamos que determinar los tamaño óptimos de los lotes de los tubos para una de las máquinas, ¿a qué máquina os estabais refiriendo? – preguntó Otto, interviniendo en la conversación.*

– *Así es – respondió WILHELM –. Se trata de la máquina de ultrasonidos para la detección de grietas, ubicada en nuestra planta de control de Lila, la Quality Control, aunque sólo nos interesa la lotificación de los tubos de la familia COR.*

– *Tendré que rectificar... – dijo KESUNO – Ahora sí, la tabla de especificaciones de los tipos de tubo nos es útil, no obstante, nos siguen faltando datos, porque... ¿qué hay de los tiempos de preparación, los costes de lanzamiento, adquisición y posesión.*

Y WILHELM tomó la palabra de nuevo – *En nuestra planta de Lila, trabajamos 300 días al año, cada vez que lanzamos un lote nos lleva 30 minutos preparar el generador de ultrasonidos, independientemente del tipo de tubo; además, cada 20 tubos ajustamos el escáner durante 15 minutos. En cuanto a los costes de adquisición son el 10% del precio de venta y el coste de posesión se determina teniendo en cuenta una tasa anual del 50% sobre el coste de adquisición. Por último, los costes de lanzamiento son de 50 um por minuto de preparación.*



Y DEW mientras anotaba, alzó la cabeza y preguntó: – *¿Cuántos tubos podéis escanear al día?*

14. Determinar los tamaños de lote óptimos para los tres tipos de tubo de la familia COR.

– *¿FRANZ, te acuerdas?* – Preguntó WILHELM – *Este un dato que no tenemos en el informe, pero recuerdo que se pueden escanear 30, 35 y 40 tubos al día, dependiendo del diámetro.*

– *Gracias FRANZ* – respondió DEW y continuó con una pregunta – *¿Cómo tenéis diseñado vuestro sistema de almacenamiento de tubos COR?*

– *A la salida de la máquina de ultrasonidos llevamos los tubos a nuestro almacén de 3000 m<sup>2</sup>. El almacén se compone de celdas de 75 m<sup>2</sup>. En cada celda colocamos 10 tubos en disposición triangular en cuanto al alzado y con una base de 4 tubos en cuanto a la disposición en planta.* – contestó WILHELM.

En ese momento, mientras DEW tomaba nota en su cuaderno, OTTO preguntó – *¿Qué os parece si nos tomamos un descanso y recuperamos fuerzas?*

15. Determinar los tamaños de lote óptimos para los tres tipos de tubo de la familia COR, teniendo en cuenta el tamaño del almacén.

– *Buena idea OTTO* – respondió FRANZ – *os vamos a llevar a tomar unos platos típicos de la región a la “Bola de Vesi”, junto al lago... ¡un paradisíaco lugar, de los que no se olvidan! Eso sí, nada de cata de licores de algas, ya tuvimos bastante con la de ayer, hoy disfrutaremos de las aguas minerales del glaciar ELEMENTTIEN.*

Tras la comida nuestros amigos volvieron a la acción. Una vez sentados, KESUNO tomó la palabra. – *Estupendo refrigerio... Bueno tenéis que contarnos algo más sobre este proyecto o podemos pasar ya al siguiente?*

– *Sí,* – intervino FRANZ – *Últimamente hemos tenido problemas con las instalaciones de los codos y las bridas, es posible que esto se deba a la forma que tenemos de confeccionar los lotes de venta. Estos lotes se componen de 10 codos y 10 bridas, lo que ocurre que es que estos elementos tienen distinta procedencia.*

– *¿Procedencia?* – preguntó KESUNO – *¡Si!* – prosiguió FRANZ – *Os explico: para la fabricación disponemos de dos procesos en paralelo, al igual que para los codos, con las mismas características en cuanto a fabricación pero no en cuanto a calidad. En concreto, para los codos, el proceso Yin 1 nos genera un 10% de codos defectuosos, mientras que la Yin 2 un 50%. Por su parte, para las bridas, el proceso Yan 1 tiene una tasa de defectos del 20% y la Yan 2 un 40 %. Con el fin de homogeneizar estas diferencias, a la hora de llevar a cabo los lotes de venta, mezclamos los productos obtenidos por ambos procesos en cantidades iguales. Cada lote conjunto de codos y bridas tiene un precio de venta de 45000 um, independiente de su procedencia, ya que una vez constituidos perdemos la traza. Las alternativas que tenemos son: si no vendemos un lote, por miedo a que sea defectuoso, perdemos 5000 um; por el contrario, si vendemos y algún producto sale defectuoso, perdemos lo correspondiente al precio de venta más una penalización por garantía que en total equivale a 100000 um.*



– *Entiendo..., queréis saberlo todo sobre este problema* – observó KESUNO dirigiendo una mirada a DEW para indicarle que tomara nota. Y DEW, sin necesidad de palabras, entendió aquella señal. Al mismo tiempo KESUNO preguntó – *¿Pueden realizar algún tipo de prueba para determinar si un codo y una brida son defectuosas?*

– *Por supuesto, tenemos estandarizado un ensayo destructivo que tiene un coste total, para brida y codo, de 7000 um* – contestó FRANZ.

– *Sospecho que para usted el significado de destructivo es quedarse sin una brida y un codo* – insinuó KESUNO.

– *¡Así es!* – fue la respuesta que se escuchó en la sala.

16. Determinar la ganancia esperada media, en la venta de un lote.

17. Determinar la estrategia óptima considerando la posibilidad de llevar a cabo 1 o 2 experimentos consecutivos.

Justo en ese momento, WILHELM, cerrando el dossier del proyecto NEUES WERK, repartió copias de un segundo dossier, en cuya portada aparecía el nombre: “SALT PROJECT”. El proyecto consistía en la instalación de una desalinizadora en las cercanías de VESI y su ejecución se había dividido en las actividades que figuraban en la página 3 del dossier.

Ref.	Descripción	Prec.	Dur. (sem)	Recursos		
				A	B	C
A	Excavaciones “inshore” (cerca del mar)	-	4	4	4	2
B	Excavaciones “offshore” (lejos del mar)	-	2	6	2	2
C	Construcción edificio desaladora	B	6	10	2	1
D	Instalación captación y bombeo agua de mar	C	3	3	1	1
E	Instalación colectores de impulsión de agua mar-planta	C	3	4	1	2
F	Instalación filtros de arena y cartuchos	A	7	6	3	3
G	Instalación bombas de alta presión de aspiración	D, E, F	1	2	2	4
H	Instalación bastidores para membranas de osmosis	G	2	7	3	4
I	Instalación bombeo de agua desalada	H	1	2	1	2
J	Instalación colectores y depósitos de agua para distribución a red	H	3	9	3	2
K	Instalación colectores submarinos	H	7	5	5	1
L	Instalación difusores	K	2	4	4	1
M	Limpieza química de las membranas	H	1	1	0	2
N	Colocación de soportes metálicos para tramos de tubería	M	4	3	5	3
O	Sellado de pasamanos	M	2	2	2	1
P	Acabados	O (1sem.)	5	5	1	0
Q	Inspecciones / Control de calidad	L (1sem.)	2	0	0	4
R	Puesta en marcha	Q	1	0	0	3

Acto seguido, DEW hizo la siguiente pregunta: – *¿Cuáles pensáis que son los principales resultados que deben extraerse del análisis de este nuevo proyecto?*



– *Lo típico* – contestó WILHELM, respuesta que dio lugar a que DEW reanudara sus anotaciones.

18. Determinar la duración mínima del proyecto, sin considerar limitación de recursos, calculando los márgenes totales, así como las fechas de inicio mínimas y máximas de cada actividad.

– *¿A qué os referís con A, B y C cuando habláis de los recursos?* – volvió a preguntar DEW.

– *Es una forma de denominar la categoría de nuestros técnicos, que es un agregado de las funciones que pueden desempeñar y la capacidad de mando que se les ha otorgado* – contestó WILHELM.

Y Dew volvió al ataque – *¿Cuántas personas habéis asignado al SALT PROJECT, según sus categorías?*

– *¡Buena pregunta!* – exclamó WILHELM – *¿Lo recuerdas FRANZ?* – *Sí* – contestó FRANZ – *10 de A, 6 de B y 4 de C.*

19. Determinar la nueva duración del proyecto si consideramos la limitación de los recursos.

– *¿Y cómo tenéis los plazos para el proyecto?* – seguía DEW insistiendo.

– *Nuestro cliente desearía que el proyecto se realizara ininterrumpidamente y sin solapes con la fiesta de Alvanuit* – respondió FRANZ – *En caso de salirnos de esas condiciones deberemos pagar una bonificación de 50000 um por semana y la contratación de más operarios supone unos costes de 60000, 50000 y 40000 um anuales, según su categoría.*

En esta ocasión las anotaciones de DEW fueron:

20. Analizar las repercusiones de las sanciones y contrataciones y buscar, si es posible, un punto de equilibrio.

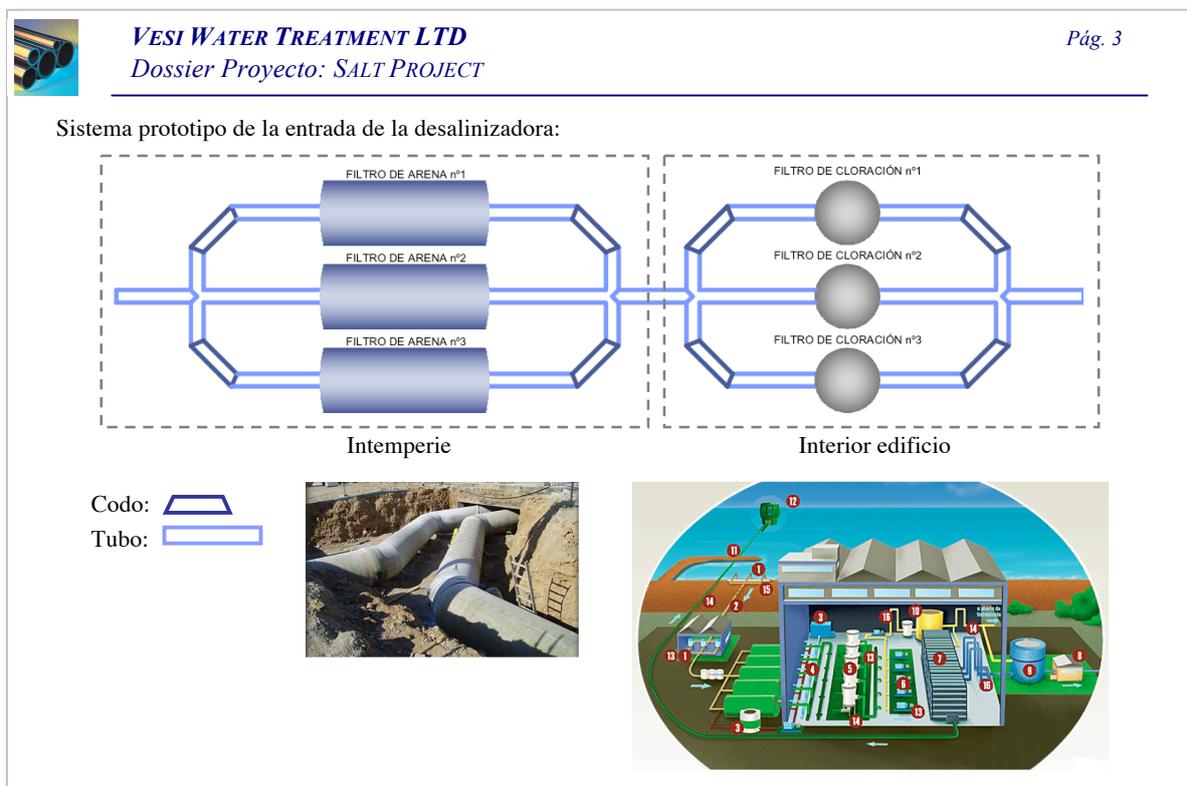
Tras las últimas anotaciones de DEW, OTTO alzó la cabeza súbitamente como recordando algo. Después de un chasqueo de dedos, posiblemente para llamar la atención, preguntó directamente a WILHELM – *¿El SALT PROJECT tiene que ver algo con el problema de mantenimiento y fiabilidad del que nos hablasteis anoche?*

– *En parte sí* – contestó WILHELM – *aunque se trata de un sistema prototipo, y queremos, previamente, determinar el buen funcionamiento del sistema y lo que nos puede llegar a costar su mantenimiento en caso de que lo lleváramos a la práctica. El sistema prototipo lo tenéis en la figura que os aparece en la página 4 del dossier. La principal preocupación se centra en los codos del subsistema de entrada de agua del mar. En este sistema el agua primero atraviesa los filtros de arena, que están a la intemperie, pasando después al tratamiento de cloración, ya en el interior de la planta.*

– *¿Todos los codos tienen la misma fiabilidad?* – preguntó OTTO – *¡No!... depende de la ubicación y además de la edad* – respondió FRANZ – *Cuando los codos están en el exterior, durante los primeros 5 años se produce en promedio una avería por año, a partir de aquí el número medio de averías aumenta en una avería por año, cada cinco años. En cambio,*



cuando los codos están en el interior, la tónica es la misma pero reduciéndose a la mitad el número medio de averías.



– La vida útil de este tipo de instalaciones es de 25 años y cada 5 años nos planteamos si renovamos, o no, parcial o totalmente los codos – continuó hablando FRANZ –. El coste de la renovación es de 600 um por codo ubicado en el exterior y en el interior de 360 um por codo. En el caso de que decidamos no renovar, contratamos una póliza de seguro que nos cuesta 1600 um y que cubre los próximos 5 años.

Y DEW, sin decir palabra, de nuevo volvió a anotar:

21. Determinar la política óptima de renovación de equipos, para los primeros 25 años y para largo plazo. Utilizar para ambos casos un tipo de interés del 4%. Considerar la renovación de los codos por bloques, externo e interno o ambos.
22. Determinar la función de fiabilidad del sistema, sin renovación.
23. Determinar la fiabilidad del sistema cada 5 años, en caso de no renovar los equipos.

– ¿Algo más que añadir, señores? – preguntó KESUNO. – Nada más, en principio esto es todo amigos – contestó WILHELM. – Tendréis los resultados dentro de dos semanas – Concluyó KESUNO.

Aquella misma noche, la luna se reflejaba llena sobre el lago helado cuando el tren dejaba atrás la estación. Como venía siendo costumbre, DEW acercó una vez más su rostro a la ventanilla y esta vez susurró con pícaro sonrisa – *A pesar de la soledad y gelidez de este paisaje, siempre que lo miro me genera una sensación agradable ... ¡Esto es tranquilidad! ... quien lo probó lo sabe.*



## DIRECCIÓN DE OPERACIONES: RETORNO A MERIDIAN-KAUPUNKI

### Lista de temas a resolver :

3. Determinar el plan de producción con tasas de fabricación constantes y sin rupturas para el año 1.
4. Comparar dicho plan, cuantitativa (costes: aspectos económicos) y cualitativamente (fortalezas y debilidades), con otro de tasas de fabricación constantes con rupturas.
5. Planificar la producción para el año 1, con el objetivo de minimizar los costes globales de fabricación, mantenimiento y rupturas.
6. Establecer un plan de producción sin rupturas con tasas de fabricación constantes y distintas para cada una de las épocas del año (día y noche polar) y seleccionar la opción definitiva.
7. Determinar el plan de aprovisionamiento de materiales correspondiente al plan de producción con tasas de fabricación constantes y sin rupturas para el año 1.
8. Determinar el plan de aprovisionamiento de materiales correspondiente al plan de producción con tasas de fabricación constantes y con rupturas para el año 1.
9. Determinar el plan de aprovisionamiento de materiales correspondiente al plan de producción para el año 1 cuyo objetivo es minimizar los costes globales de fabricación, mantenimiento y rupturas.
10. Determinar el plan de aprovisionamiento de materiales correspondiente a un plan de producción sin rupturas, con tasas de fabricación constantes y distintas para cada una de las épocas del año (día y noche polar).
11. Analizar conjuntamente las ventajas e inconvenientes de los cuatro planes globales de producción y aprovisionamiento determinados anteriormente. Seleccionar uno de ellos (multicriterio).
13. Empleando diversos procedimientos de resolución, determinar secuencias de lotes de productos que minimicen  $C_{max}$ . Despreciar los tiempos de preparación, como consecuencia de que los lotes de fabricación son de 25 unidades que coincide con los de transferencia.
14. Determinar los tamaños de lote óptimos para los tres tipos de tubo de la familia COR.
15. Determinar los tamaños de lote óptimos para los tres tipos de tubo de la familia COR, teniendo en cuenta el tamaño del almacén.
18. Determinar la duración mínima del proyecto, sin considerar limitación de recursos, calculando los márgenes totales, así como las fechas de inicio mínimas y máximas de cada actividad.
19. Determinar la nueva duración del proyecto si consideramos la limitación de los recursos.
20. Analizar las repercusiones de las sanciones y contrataciones y buscar, si es posible, un punto de equilibrio.



## **MODELOS DE DECISIÓN: RETORNO A MERIDIAN-KAUPUNKI**

### **Lista de temas a resolver :**

16. Determinar la ganancia esperada media, en la venta de un lote.
17. Determinar la estrategia óptima considerando la posibilidad de llevar a cabo 1 o 2 experimentos consecutivos.
21. Determinar la política óptima de renovación de equipos, para los primeros 25 años y para largo plazo. Utilizar para ambos casos un tipo de interés del 4%. Considerar la renovación de los codos por bloques, externo e interno o ambos.



## ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL: RETORNO A MERIDIAN-KAUPUNKI

### Lista de temas a resolver :

1. Evaluar las diferentes alternativas para afrontar el problema del aumento de la demanda en los próximos cinco años. Suponer para ello un tipo de interés anual de 4%.
2. Determinar la posición óptima de la nueva planta, teniendo en cuenta la demanda de los clientes y el precio de venta de los productos.
3. Determinar el plan de producción con tasas de fabricación constantes y sin rupturas para el año 1.
4. Comparar dicho plan, cuantitativa (costes: aspectos económicos) y cualitativamente (fortalezas y debilidades), con otro de tasas de fabricación constantes con rupturas.
6. Establecer un plan de producción sin rupturas con tasas de fabricación constantes y distintas para cada una de las épocas del año (día y noche polar) y seleccionar la opción definitiva.
10. Determinar el plan de aprovisionamiento de materiales correspondiente a un plan de producción sin rupturas, con tasas de fabricación constantes y distintas para cada una de las épocas del año (día y noche polar).
12. Analizar conjuntamente las ventajas e inconvenientes del plan de aprovisionamiento de materiales y su plan director de producción sin rupturas, con tasas de fabricación constantes y distintas para cada una de las épocas del año (día y noche polar).
14. Determinar los tamaños de lote óptimos para los tres tipos de tubo de la familia COR.
15. Determinar los tamaños de lote óptimos para los tres tipos de tubo de la familia COR, teniendo en cuenta el tamaño del almacén.
18. Determinar la duración mínima del proyecto, sin considerar limitación de recursos, calculando los márgenes totales, así como las fechas de inicio mínimas y máximas de cada actividad.
19. Determinar la nueva duración del proyecto si consideramos la limitación de los recursos.
20. Analizar las repercusiones de las sanciones y contrataciones y buscar, si es posible, un punto de equilibrio.
22. Determinar la función de fiabilidad del sistema, sin renovación.
23. Determinar la fiabilidad del sistema cada 5 años, en caso de no renovar los equipos.



*Agradecimientos*

*Los autores agradecen al Sr. Guillermo López Giraldo su útil labor en la recopilación de datos sobre instalaciones de tuberías para la elaboración de esta práctica.*



**DOE**

[www.prothius.com](http://www.prothius.com)