

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción

"Viabilidad técnica y económica de la instalación de un sistema de control para el cocinado de atún en una planta enlatadora local"

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO INDUSTRIAL

Presentada por:

Abel Olivares Ampuero

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2005

AGRADECIMIENTO

A todas las personas que de uno u otro modo colaboraron en la realización de este trabajo, en especial a al Ing. Giovanni Lauri al Ing. Juan Vásconez y al Ing. Ernesto Martínez, Director de Tesis, por su invaluable ayuda.

DEDICATORIA

A MI MADRE Y AL DR.
JAVIER ZAMBRANO, MI
PADRE, DE QUIENES
SIEMPRE HE RECIBIDO
SU APOYO Y
CONFIANZA

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Ing. Horacio Villacís M.
Delegado por el Decano de la FIMCP
PRESIDENTE

Ing. Ernesto Martínez L.
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Clara Camino O.
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL"

(Reglamento de Graduacion de la ESPOL)

Abel Andrés Olivares Ampuero

RESUMEN

La actividad industrial del sector pesquero es una de las principales fuentes de divisas para el país especialmente en los últimos años. La calidad y variedad de productos tales como atún, sardinas, crustáceos y moluscos le han valido al Ecuador reconocimiento internacional y no es difícil encontrar estos productos en los mercados externos.

Dada la importancia que tiene la eficiencia para reducir los costos de producción, más aún en un país como el Ecuador que actualmente tiene la desventaja de no tener un tipo de cambio variable que le permita ser competitivo en precios, es necesario tomar en cuenta dónde se está perdiendo dinero en las empresas dedicadas a esta actividad, de manera tal de hacer los correctivos necesarios y mejorar la relación costo-beneficio.

El atún, producto estrella del Ecuador en lo que se refiere a la industria pesquera, luego de ser descongelado y eviscerado, es sometido a un proceso de cocción al vapor. Este proceso tal como se lo ha desarrollado mayoritariamente en nuestro país se ha basado en tiempos de cocinado

según la experiencia de los operadores. Este método no contempla sin embargo, variables que afectan dichos tiempos de cocinado tales como la temperatura inicial, origen y manejo previo de los pescados y la carga completa o parcial de los cocinadores. A ello se suma la dificultad que tienen los operarios para controlar eficazmente la temperatura de cocinado apropiada ya que lo hacen de forma manual.

Para el caso de la planta que se tomará como ejemplo, esto causa que la empresa pierda alrededor del **3%** en peso de materia prima por lo que deja de percibir alrededor de 1'000.000 de dólares anuales.

Esta tesis tiene como objetivo exponer la viabilidad técnica y financiera de un sistema de cocinado por control de temperatura en una importante planta atunera. Primeramente se realizará una introducción al mercado e industria del atún y se revisará la situación actual de la planta con datos y estadísticas. Luego se fundamentarán los principios del cocinado a nivel industrial y se describirán las ventajas de un sistema automático de control. A continuación se estimará la inversión necesaria y se realizará el estudio financiero del proyecto que permitirá establecer cuan rentable es en diferentes escenarios. Finalmente, se expondrán las conclusiones y recomendaciones para que este sistema pueda ser llevado a la práctica y sirva como modelo para el mejoramiento de los procesos en otras industrias del sector.

ÍNDICE GENERAL

	Pág
RESUMEN.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	IV
ABREVIATURAS.....	VII
SIMBOLOGÍA.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
ÍNDICE DE GRAFICOS.....	XIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO 1	
1. ANTECEDENTES DE LA INDUSTRIA ATUNERA.....	3
1.1 Antecedentes históricos de la industria del atún.....	3
1.2 Características generales del atún	3
1.3 Situación del mercado del atún a nivel internacional.....	6
1.3.1 Atún fresco y congelado.....	10
1.3.2 Atún en conserva.....	11
1.4 Situación del Ecuador en el mercado del atún.....	13

1.5 Proceso de industrialización del atún.....	16
--	----

CAPITULO 2

2. SITUACION ACTUAL DE UNA EMPRESA DEL SECTOR.....	32
2.1 Producción presente y futura.....	32
2.2 Distribución de planta y flujo de procesos.....	36
2.3 Tecnología y administración de la producción.....	43
2.4 Rendimientos de materia prima en planta.....	47
2.5 Cuantificación de pérdidas en el precocinado.....	50

CAPITULO 3

3. ESTUDIO TÉCNICO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE PRECOCINADO

3.1 Fundamentos del precocinado de atún.....	59
3.1.1 Física y bioquímica del proceso de precocinado.....	62
3.2 Modelo matemático del proceso de precocinado.....	66
3.2.1 Validez del modelo matemático.....	75
3.2.2 Determinación del gradiente temperatura-tiempo.....	76
3.3 Fundamentos de la ingeniería de control.....	79
3.4 Sistema de precocinado actual.....	95
3.4.1 Descripción del proceso de precocinado.....	95
3.4.2 Características del sistema actual.....	97

3.5 Mejoras propuestas al sistema actual.....	102
3.6 Inversión requerida.....	107
3.6.1 Selección de equipos.....	107
3.6.2 Presentación de alternativas y sus costos.....	111
CAPITULO 4	
4. ESTUDIO FINANCIERO DEL PROYECTO.....	117
4.1 Proyecciones e Indicadores.....	117
4.2 Puntos de equilibrio entre alternativas.....	125
4.3 Análisis de sensibilidad.....	128
CAPITULO 5	
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	137
5.1 Conclusiones.....	137
5.2 Recomendaciones.....	138
APENDICES	
BIBLIOGRAFÍA	

ABREVIATURAS

°C	Grado Centígrado
°C /min	Grado Centígrado por minuto
c/u	Cada uno
Hr	Hora
J/Kg °C	Joules por kilogramo grado centígrado
Kg/m ³	Kilogramos por metro cúbico
Lbs	Libras
mA	Miliamperios
Mg	Miligramos
mV	Milivoltios
rtd	Resistance Temperature Detector
SCADA	System Control and Data Acquisition
SPT	Shortest Processing Time
TM	Tonelada Métrica
US\$ o USD	Dólares de los Estados Unidos de Norteamérica
USD/Ton	Dólares por Tonelada
V	Voltio
Vs	Versus
W/m °C	Vatio por metro grado centígrado

SIMBOLOGIA

ANt	Ahorro neto en el año t
ATO	Air to open
Cp	Calor específico
Cv	Coeficiente de Válvula
Desv. Estand	Desviación Estándar
FC	Fail Close
fem	Fuerza Electromotriz
h	Coeficiente de transferencia térmica por convección
i	Tasa referencial pasiva de interés
Io	Inversión Inicial
J1	Función de Bessel de orden 1
Jo	Función de Bessel de orden 0
k	Coeficiente de conductividad térmica
L	Radio asumido de la sección transversal del atún
Lamdas m i	Valores característicos de la ecuación del calor
r	Radio
t	Tiempo
T	Temperatura
Ta	Temperatura ambiente dentro del cocinador
Te	Temperatura de estado estacionario
tf	Tiempo final
Tf	Temperatura final
TIR	Tasa Interna de Retorno
To	Temperatura Inicial

t_0	Tiempo Inicial
T_s	Temperatura en la superficie
VAN	Valor Actual Neto
X	Eje x de la seccion transversal rectangular
Y	Eje y de la sección transversal rectangular
Z	Eje z longitudinal
ρ	Densidad

INDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Atún Yellowfin.....	4
Fig. 2 Atún Patudo.....	5
Fig 3 Atún Skipjack.....	6
Fig.4 Proceso de industrializacion del atún en conserva.....	16
Fig. 5 Barco Atunero.....	17
Fig. 6 Pesca con red.....	17
Fig. 7 Pesca con palangre.....	18
Fig. 8 Análisis de materia prima.....	19
Fig. 9 Descarga del atún	20
Fig. 10 Atún en coches	22
Fig. 11 Precocinador de atún.....	23
Fig. 12a Limpieza de lomos.....	24
Fig. 12b Línea de limpieza.....	24
Fig. 13a Llenadoras de latas.....	25
Fig. 13b Llenadoras de latas.....	25
Fig. 14 Llenado manual de latas.....	26
Fig. 15 Adición de líquido de cobertura.....	27

Fig. 16 Sellado de latas.....	27
Fig. 17 Lavadora de latas.....	28
Fig. 18a Autoclaves.....	29
Fig. 18b Esterilización de latas.....	29
Fig. 19a Etiquetado y empaquetado.....	30
Fig. 19b Empacadora de latas.....	30
Fig. 20 Almacenamiento de producto.....	31
Fig 21 Distribución de planta.....	41
Fig.22 Flujo del proceso productivo.....	42
Fig. 23a Cocinadores de salmuera.....	60
Fig. 23b Cocinadores de salmuera.....	60
Fig.24 Cocinador a vapor.....	61
Fig.25 Distribución de temperatura durante el precocinado.....	70
Fig.26a Termocuplas o termopares.....	82
Fig.26b Termocuplas o termopares.....	82
Fig.27 RTDs con cabezal de conexión.....	83
Fig.28 Transmisores o "transmitters".....	84
Fig.29a Controlador electronicos.....	85
Fig.29b Controlador electronicos.....	85
Fig.30a Transductor TIP.....	88
Fig.30b Transductor TIP.....	88

Fig.31 Válvulas proporcionales.....	89
Fig.32 Control por retroalimentación.....	92
Fig.33 Control por acción precalculada.....	93
Fig.34 Control mixto.....	94
Fig. 35 Sistema con un sensor por cocinador.....	112
Fig. 36 Sistema con dos sensores por cocinador.....	112
Fig. 37 Sistema con cuatro sensores por cocinador.....	113

INDICE DE GRAFICOS

Gráfico 1 Pesca de atún por año.....	7
Gráfico 2 Exportaciones de atún vs Exportaciones pesqueras	8
Gráfico 3 Capturas de atunes por especie.....	9
Gráfico 4 Exportaciones de atún fresco y congelado	10
Gráfico 5 Producción mundial de atún en lata.....	11
Gráfico 6 Exportaciones mundiales de atún en lata.....	12
Gráfico 7 Principales exportadores de atún en lata.....	12
Gráfico 8 Exportaciones ecuatorianas de atún.....	14
Gráfico 9 Exportaciones de atún en conserva de la empresa.....	33
Gráfico 10 Exportaciones de lomos precocinados de la empresa.....	35
Gráfico 11 Exportaciones de atún de la empresa.....	35
Gráfico 12 Rendimiento estándar del atún en conserva.....	47
Gráfico 13 Variación del contenido de humedad con la temperatura.....	65
Gráfico 14 Temperatura de cocinador con control manual.....	99
Gráfico 15 Comportamiento esperado en precocinado.....	100
Gráfico 16 Pescado semicrudo por cocinado irregular.....	101

Gráfico 17	Pescado sobrecocinado por temperatura irregular.....	102
Gráfico 18	Temperatura de cocinador y espina con control automático.....	103
Gráfico 19	Error en tiempo de precocinado por diferencia en propiedades físicas de los atunes.....	105
Gráfico 20	Precocinado con control proporcional de temperatura en el cocinador y control de temperatura de espina.....	106
Gráfico 21	Variación del VAN con la producción anual.....	135
Gráfico 22	Variación del VAN con el costo de la materia prima.....	135
Gráfico 23	Variación del VAN con las mejoras en rendimiento.....	136

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Rendimientos de precocinado en un día.....	52
Tabla 2 Rendimientos de precocinado (con media de pérdidas).....	53
Tabla 3 Medias de rendimientos de precocinado en un mes.....	54
Tabla 4 Intervalos de confianza para el rendimiento promedio.....	55
Tabla 5 Producción y materia prima procesada.....	57
Tabla 6 Materia Prima perdida.....	58
Tabla 7 Costos de Materia Prima perdida	58
Tabla 8 Gradiente de temperatura durante el precocinado.....	77
Tabla 9 Tiempos de cocinado para Skipjack.....	97
Tabla 10 Inversión para sistema de un sensor.....	115
Tabla 11 Inversión para sistema de dos sensores.....	115
Tabla 12 Inversión para sistema de cuatro sensores.....	116
Tabla 13 Flujo de caja para proyecto de un cocinador con un sensor.....	119
Tabla 14 Flujo de caja para proyecto de un cocinador con dos sensores.....	122
Tabla 15 Flujo de caja para proyecto de un cocinador con cuatro sensores.....	124

Tabla 16	Cuadro comparativo de indicadores financieros.....	125
Tabla 17	Mejoras en eficiencia requeridas en alternativas B y C para igualar VAN de Alternativa A.....	127
Tabla 18	Mejoras en eficiencia requeridas en alternativas B y C para igualar TIR de Alternativa A.....	128
Tabla 19	Flujo de caja para con produccion actual.....	129
Tabla 20	Flujo de caja con disminuci3n del 5% en la producci3n.....	130
Tabla 21	Flujo de caja con disminuci3n del 10% en la producci3n.....	131
Tabla 22	Flujo de caja con aumento del 5% en la producci3n.....	132
Tabla 23	Comparativo ante distintos escenarios de producci3n.....	133
Tabla 24	Comparativo ante distintos escenarios de costos en materia prima.....	133
Tabla 25	Comparativo ante distintos escenarios de rendimiento.....	134

INTRODUCCIÓN

El procesamiento de productos de mar ha sido una de las actividades más representativas de la industria ecuatoriana en los últimos años.

El país cuenta actualmente con 49 empresas pesqueras en operación dedicadas a la elaboración de productos congelados, enlatados, harinas y aceites. Gran parte de esta producción sale a los mercados internacionales convirtiendo a esta actividad es uno de los puntales de desarrollo de la economía ecuatoriana.

Entre los productos anteriormente mencionados el atún acapara el mayor porcentaje de los ingresos por este rubro. Dado el número creciente de empresas que se inician en esta actividad no sólo en el Ecuador sino en el mundo, y las cada vez mayores exigencias de los clientes en cuanto a calidad es de suma importancia estar en una constante búsqueda de soluciones que permitan operar más eficientemente a estas plantas.

La ingeniería de control automático es una ciencia que ha permitido a las industrias mejorar enormemente la eficiencia de sus operaciones a través de la historia y la industria del atún no es la excepción.

Mediante esta ciencia es posible tener un control mucho más ajustado de ciertos procesos críticos en la producción del atún como es el caso del precocinado.

Tomando como ejemplo una planta del sector se evaluará las ventajas y costos de introducir un sistema automático que permita incrementar los rendimientos y por ende las utilidades y competitividad de una planta atunera en general.

CAPÍTULO 1

1. ANTECEDENTES DE LA INDUSTRIA ATUNERA

1.1 Antecedentes históricos de la industria del atún

Aunque no hay concordancia entre las fuentes que citan los orígenes de la industria atunera, se sabe que coincidió con la quiebra en la industria de sardinas en California en 1903 lo que obligó a los industriales de la época a considerar otras variedades de peces para mantener sus fábricas. California se constituyó en el principal centro atunero en el mundo pero poco a poco la actividad fue tomando más fuerza en aguas más meridionales y en el Océano Atlántico y luego llegó a lugares más distantes como Ecuador, Perú, Samoa y Hawai.

1.2 Características generales del atún

El atún es un pez óseo del orden de los perciformes y familia de los túnidos.

Tiene un cuerpo robusto y fusiforme, aleta caudal falciforme y de gran tamaño y de 8 a 10 pequeñas aletas bajo la segunda dorsal y detrás de la anal, la región pectoral es de color blanca azulada; el dorso, negro azulado y los flancos, grisáceos con manchas blancas. Su peso y tamaño depende de la variedad.

El atún es conocido y pescado desde la antigüedad siendo uno de los de mayor tamaño que el hombre captura. Su dispersión geográfica es bastante amplia pues se extiende por las aguas templadas y tropicales de todos los océanos por donde realizan sus larguísimas migraciones lo que dificulta la conservación y el control de la pesca de muchas especies.

Las principales especies de atún comercializadas en los mercados internacionales y locales son el atún aleta amarilla (Yellowfin Tuna o *Thunnus Albacares*), el atún barrilete (Skipjack tuna), el atún barrilete negro (Black Skipjack Tuna) y el atún albacora.

Yellowfin (Rabil, aleta amarilla, *thunnus albacares*)



Fig. 1 Atún Yellowfin

Es el atún más grande, más capturado y de mayor valor. Toma su nombre de la coloración de sus aletas y puede alcanzar un peso de hasta 400 libras. Es el tipo de atún que da carne cocida más blanca después de la albacora, de ahí su alto valor comercial. Se encuentra distribuido por las aguas tropicales y subtropicales de los océanos Índico, Atlántico y Pacífico en cuyas costas orientales se realiza la mayor cantidad de su pesca comercial. Se lo suele localizar en bancos junto a manchas de delfines que frecuentemente nadan por encima del atún.

Bigeye (Ojo grande, patudo, *thunnus obesus*)



Fig. 2 Atún Patudo

Es la segunda especie más conocida y comercializada. Es similar en apariencia al Yellowfin y se diferencia por su cuerpo regordete, cabeza alargada y ojos notoriamente más grandes. Está distribuido en las aguas calientes de todos los océanos.

Skipjack (Listado, bonito, barrilete, *Katsuwonus pelamis*)



Fig. 3 Atún Skipjack

El atún barrilete está ampliamente distribuido alrededor del Océano Pacífico y es la especie más pequeña de los atunes que se procesan para conservas aunque ocupa el tercer lugar en pesca. Su peso promedio es de 6 a 12 libras habiendo ejemplares que llegan a las 20 libras. Por las características de su carne que es más oscura, de sabor más fuerte y aceitosa que de las especies anteriormente nombradas, su valor comercial es menor. Los métodos más comúnmente empleados para su captura son el de cerco y cañeros.

1.3 Situación del mercado del atún a nivel internacional

La pesca del atún a nivel mundial ha ido en aumento durante los últimos 15 años siendo Japón , Taiwán, España, Indonesia, Corea y Filipinas los principales países dedicados a la actividad.

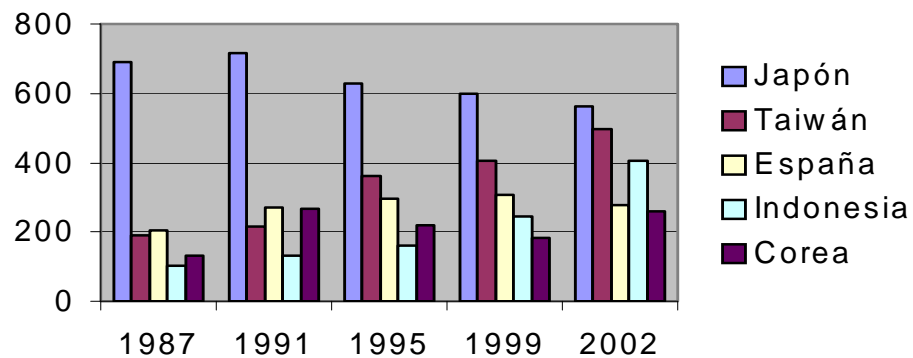


Gráfico 1 Pesca de atún por año (1000 TM)

Fuente: Global World Tuna Markets

	1987	1991	1995	1999	2002
Japón	690	717	628	598	561
Taiwán	191	214	363	405	496
España	205	270	295	306	277
Indonesia	103	133	160	245	406
Corea	131	267	218	182	258
TOTAL	2.406	2.991	3.269	3.782	4.102

Japón es el país que se mantiene con el mayor volumen de pesca, no obstante ha reducido paulatinamente las capturas. Por otra parte Taiwán es el país que más ha incrementado las capturas durante los últimos 10 años.

El comercio del atún constituye actualmente un 8,5% en valor del total del mercado de especies marinas, convirtiéndose en el tercer producto en importancia después del lenguado y el camarón.

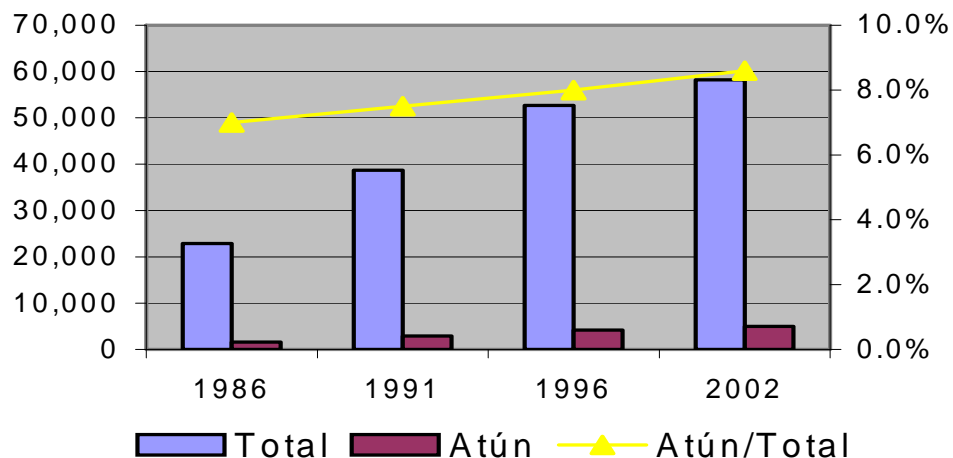


Gráfico 2 Exportaciones atún vs Exportaciones pesqueras (millones de dólares)

Fuente: Global World Tuna Markets

	1986	1991	1996	2002
Total	22.900	38.700	52.700	58.200
Atún	1.600	2.900	4.200	5.000
Atún/Total	7,0%	7,5%	8,0%	8,6%

La especie más capturada y con mayor ritmo de crecimiento a nivel mundial es el atún Skipjack o barrilete, cuya pesca llegó en 1999 a las

1'989.000 TM, más del 50% del total de capturas de atún. Le siguen el "aleta amarilla", el "patudo", la albacora y demás especies.

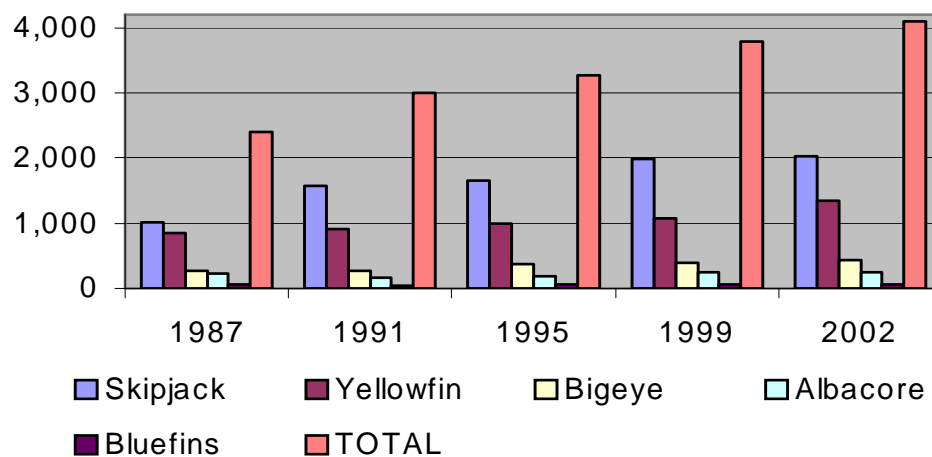


Gráfico 3 "Capturas de atunes por especie (1000 TM)"

Fuente: Global World Tuna Markets

	1987	1991	1995	1999	2002
Skipjack	1.016	1.580	1.649	1.989	2.030
Yellowfin	847	920	991	1.080	1.347
Bigeye	264	276	368	400	430
Albacore	220	171	192	244	238
Bluefins	58	45	70	70	64
TOTAL	2.406	2.991	3.269	3.782	4.104

1.3.1 Atún fresco y congelado

Las exportaciones de atún fresco y congelado experimentaron su punto más alto en el 2001, recuperándose de la caída de precios del año 1999, con un total cerca de los 3.000 millones de dólares. El país con mayores ventas en esta categoría es Taiwan con aproximadamente el 40% del total de exportaciones. Le siguen España, Corea, Australia y Francia, destacándose el crecimiento de España y Australia.

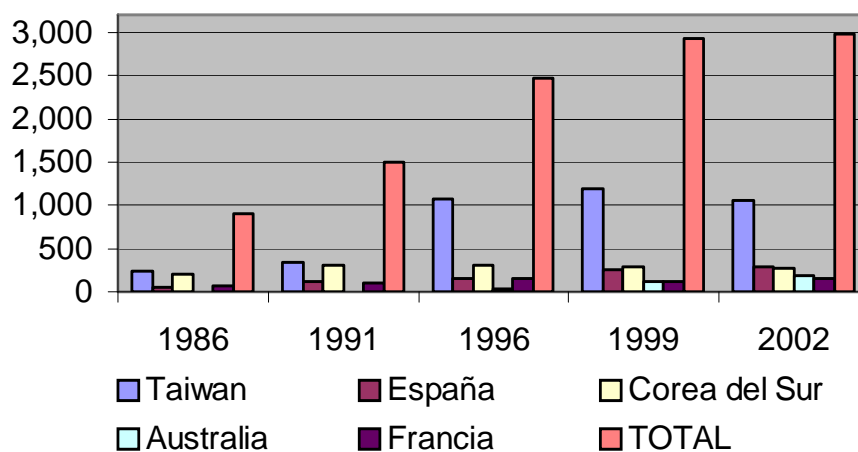


Gráfico 4 Exportaciones de atún fresco y congelado (millones de dólares)

Fuente: Global World Tuna Markets

	1986	1991	1996	1999	2002
Taiwan	235	346	1.070	1.190	1.048
España	57	122	155	260	282
Corea del Sur	201	313	312	291	268
Australia	2	3	27	115	192
Francia	61	103	151	121	152
TOTAL*	896	1.503	2.471	2.926	2.981

*Incluye los demás países

1.3.2 Atún en conserva

Después de un estancamiento durante los años 1998 hasta el 2001 la producción mundial tuvo una recuperación en el 2002 causado principalmente por la creciente demanda que ha tenido en Europa y la instalación de nuevas plantas en países en vías de desarrollo.

Entre los principales productores de atún enlatado se encuentran Tailandia, Estados Unidos, España, Japón e Italia.

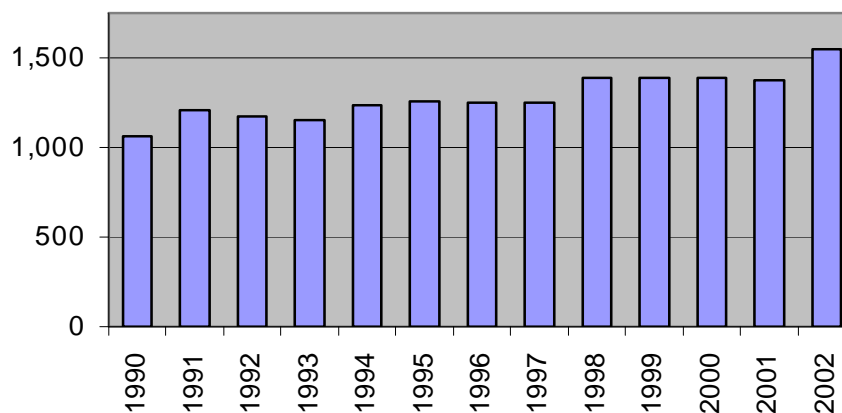


Gráfico 5 Producción mundial de atún en lata (1000 x TM)

Fuente: Global World Tuna Markets

Por otra parte, el nivel de exportaciones en términos monetarios ha caído notablemente desde 1998 aunque muestran signos de recuperación en el 2002, causado principalmente por el repunte de las exportaciones tailandesas y el crecimiento de las exportaciones en países como España y Ecuador.

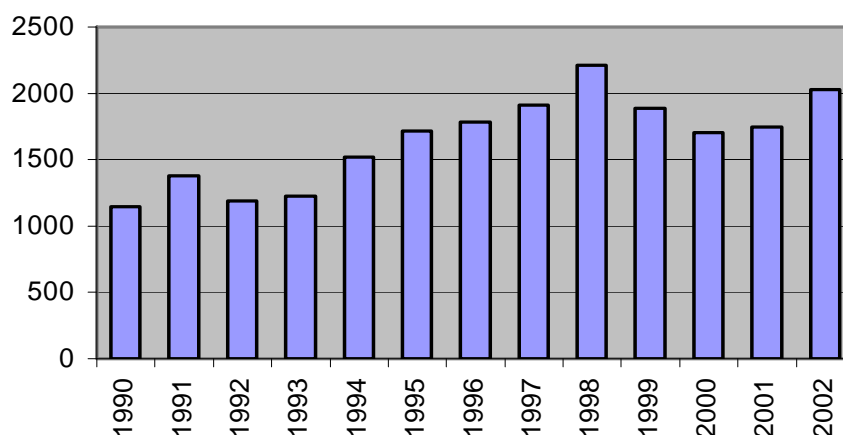


Gráfico 6 Exportaciones mundiales de atún en lata (millones US\$)

Fuente: Global World Tuna Markets

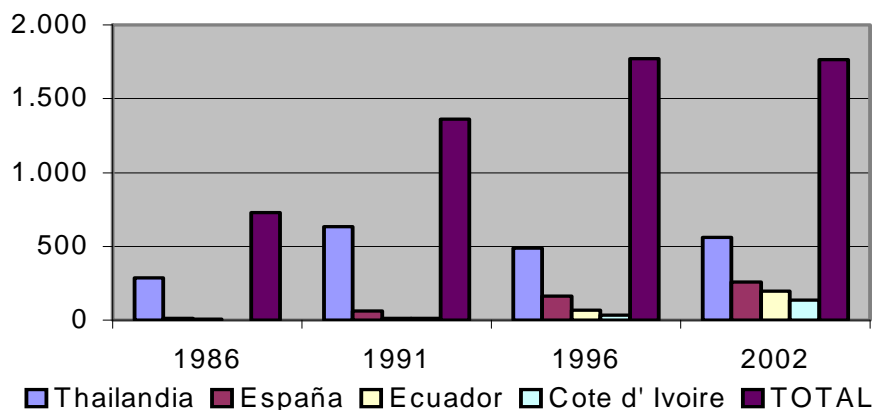


Gráfico 7 Principales exportadores de atún en lata (millones US\$)

Fuente: Global World Tuna Markets

1.4 Situación del Ecuador en el mercado del atún

La industria conservera en el Ecuador tuvo sus inicios en la década del 50, cuando al comienzo, la totalidad de productos en conservas provenían del exterior principalmente de los Estados Unidos. Las primeras plantas conserveras se instalaron en el país encontrando grandes dificultades para competir con el producto extranjero que ya gozaba de una identificación y preferencia de los consumidores. Sin embargo, en la década del 60 los gobiernos comenzaron a dar protecciones arancelarias al producto nacional, lo que paulatinamente fue desplazando a las conservas importadas.

En los años 70, con el crecimiento de la industria nacional, apareció la primera fábrica de envases metálicos y se produjo un notable incremento en la flota pesquera y en el número de puertos a lo largo del país, favorecido también por el proceso de estatización que tuvo el Perú y que llevó al Ecuador a la adquisición de un gran número de embarcaciones peruanas.

A finales de la década del 70, las plantas conserveras inician una transformación tecnológica sustancial tanto para el procesamiento de atún como de sardinas. Durante la década de los 80, 90 y 2000, la sobreproducción mundial ha causado una caída en los precios lo que ha

obligado a las plantas a mejorar su eficiencia mucho más para poder subsistir y entre ellas la industria conservera ecuatoriana en su gran mayoría se ha mantenido actualizada con los cambios tecnológicos, lo que la lleva a estar entre las mejores del mundo.

El desarrollo del sector atunero en el Ecuador en los últimos años ha sido acelerado, convirtiéndolo en una de los principales fuentes generadores de divisas y nuevos empleos en el país. El Ecuador exportó en los últimos 3 años de forma ascendente mas de 250.000 toneladas de atún entre atún fresco, lomos precocinados congelados y atún en conservas.

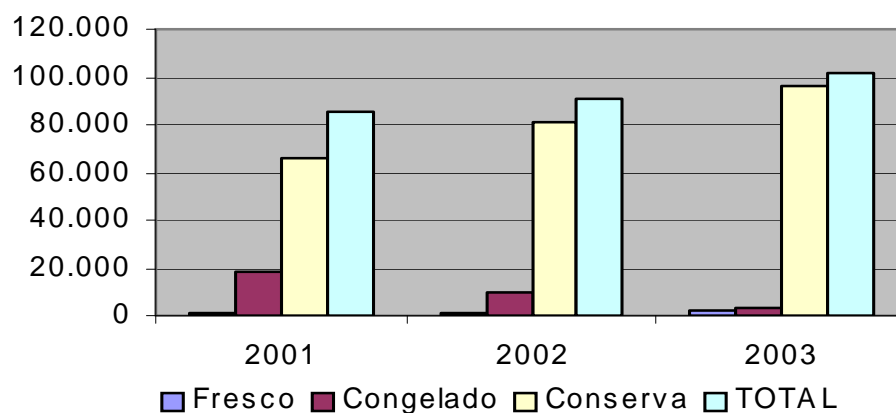


Gráfico 8 Exportaciones ecuatorianas de atún (TM)

Fuente: CORPEI

	2001	2002	2003
Fresco	1.130	1.079	2.325
Congelado	18.726	9.218	3.306
Conserva	65.906	80.697	96.510
TOTAL	85.762	90.994	102.141

Según la Revista Ecuador Pesquero sólo en el año 2000 el Ecuador procesó aproximadamente el 30% de las 603.621 toneladas de atún capturadas en el Pacífico Oriental y esto se explica debido a que además del atún capturado con flota ecuatoriana se procesa atún capturado por embarcaciones extranjeras mediante el régimen de maquila. Esto ha permitido potenciar la capacidad instalada de la industria atunera nacional hasta convertirla en una de las más importantes de la región.

Actualmente uno de los grandes desafíos de la industria atunera ecuatoriana es conseguir que el atún en lata ingrese al tratado de preferencias arancelarias andinas (ATPA) y de esta manera poder competir libre de impuestos en el mercado norteamericano.

1.5 Proceso de industrialización del atún

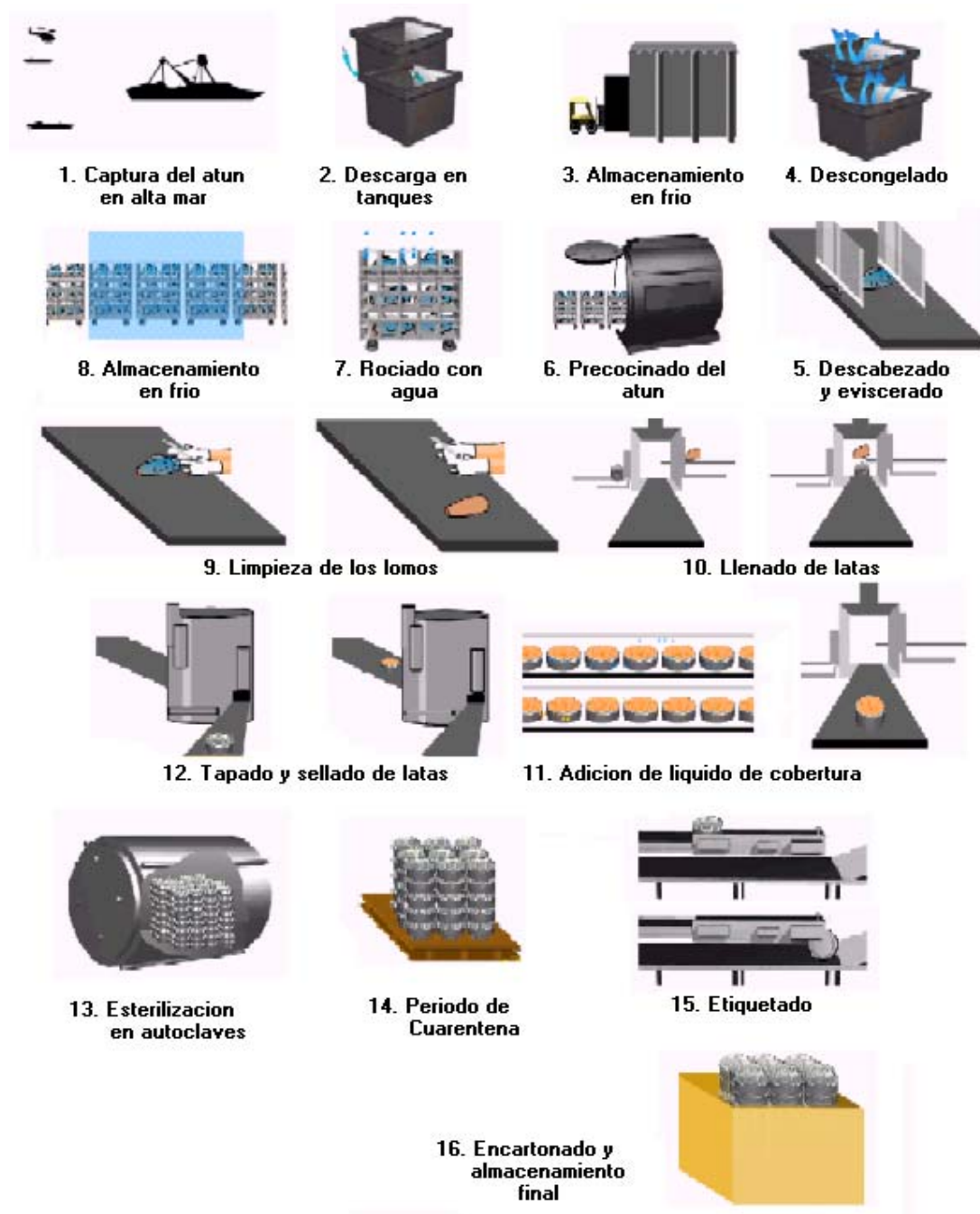


Fig. 4 Proceso de industrialización del atún en conserva

Captura en alta mar

La pesca de atún se la realiza principalmente en barcos con un calado de 150 a 250 pies mediante el método conocido como "red de cerco" en el cual, como su nombre lo indica, mediante una red se forma un cerco alrededor del cardumen, la cual posteriormente se cierra atrapando una gran cantidad de peces y otros organismos vivos o muertos. Entre los organismos vivos se cuentan los delfines, cuya captura ha originado regulaciones a nivel mundial para impedir su depredación. El método de red de cerco se utiliza principalmente para los atunes que van a ser destinados a la industria conservera.



Fig. 5 Barco Atunero

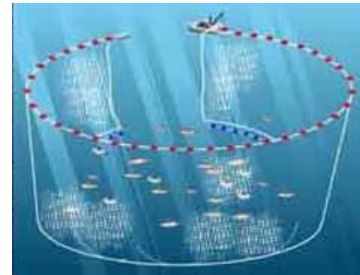


Fig. 6 Pesca con red

Otros métodos son el de caña o vara y el de palangre. El método de palangre consiste en un cable principal donde cuelga una serie de anzuelos con los cuales se capturan los peces. La caña (igual que una caña de pescar) se utiliza en superficie y se capturan organismos

utilizando carnada viva. Estos 2 métodos, por maltratar menos a los peces, son más utilizados para los productos que van a mercados más exigentes.



Fig. 7 Pesca con palangre

Luego de la captura, el pescado se vuelca directamente en tolvas, desde las cuales discurre por canales hasta los depósitos o pozas donde mediante inmersión en salmuera se mantiene una temperatura de -14°C .

Análisis de la materia prima

Al arribo del barco, por cada poza se toma una muestra que se somete a dos tipos de examen: físico y químico. Las pozas, dependiendo del tamaño promedio tienen una capacidad aproximada de 50 toneladas.

En el análisis físico se inspecciona los especímenes para descartar cualquier anomalía visualmente apreciable como enfermedades u objetos extraños como ganchos o trozos de madera. También se hace una

inspección organoléptica que permite detectar olores extraños que comúnmente pueden ser combustibles como consecuencia de un inadecuado mantenimiento de las instalaciones del barco.



Fig. 8 Análisis de materia prima

A continuación se realiza un examen químico en el cual se verifican los niveles de sal, histamina y metales pesados que pudieran inhabilitar al pescado para su posterior procesamiento.

Estos exámenes se los realiza por cada poza y por cada variedad de atún: Aleta amarilla, Skipjack o Big Eye.

Descarga y Clasificación

Luego de que se aprueba la idoneidad del pescado en cada poza, se procede a descargarlo mediante sistemas de transportación mecánicos con los que cuenta el barco. El atún que llega a tierra es clasificado por

tamaño y variedad por personas con experiencia mediante y colocado en tanques con su respectiva identificación.

Por cada poza y por cada variedad, aleta amarilla, big eye y barrilete, el pescado es clasificado según su peso. (Ver Apendice B2)



Fig. 9 Descarga del atún

Almacenamiento

Los tanques son llevados desde el muelle hasta la planta donde se almacenan en bodegas o cuartos de frío donde el pescado se mantiene entre temperaturas de -12 y -17°C .

Descongelamiento

Previo a ser cocinado el pescado previamente clasificado se deja descongelar añadiendo agua clorada a los tanques manteniendo una temperatura entre -3 y 0°C . Es importante trabajar cada categoría y

tamaños de pescado por separado para lograr uniformidad en su proceso.

Protocolo

Se toma una muestra representativa de la variedad deseada por cada tanque la cual tiene un tamaño de 1 a 3 toneladas y se la somete a cocinado. Luego de terminarse el cocinado de esta muestra, se realiza una prueba de humedad versus consistencia la cual determinará la aptitud del pescado para ser utilizado en un proceso determinado o para ser destinado a un mercado específico.

Desbuche

En el caso de ejemplares que excedan las 20 libras, el personal del área procede a cortar cabeza, cola, a retirar las vísceras y a reducirlos a pedazos más pequeños mediante la ayuda de sierras eléctricas destinadas a este fin.

Llenado de coches

Coches con bandejas de acero galvanizado son llenados manualmente con pescado descongelado del lote del cual previamente se tomó la muestra para el protocolo.



Fig. 10 Atún en coches

Una vez llenos, los carritos son llevados, ya sea mediante ruedas o montacargas al interior de los cocinadores. Es importante que la operación desde que termina el descongelamiento hasta el precocinado sea lo suficientemente ágil para que la temperatura del atún no se eleve en exceso.

Pre-cocinado

Los coches llenos con atún ingresan a los precocinadores, donde se someten a un proceso de cocción a una temperatura entre 102 y 104°C. El tiempo de precocinado depende del tamaño y la variedad del atún.



Fig. 11 Precocinador de atún

Enfriamiento

Terminado el proceso de cocción por vapor es necesario detener completamente el cocinado natural que se sigue produciendo como consecuencia de la alta temperatura por lo que los coches se sacan del cocinador y pasan por debajo de rociadores que enfrían el pescado con agua potable.

Nebulización

Luego del enfriamiento por agua, el atún es trasladado a una zona de almacenamiento temporal donde se lo mantiene a una temperatura que oscila entre los 13 y 18°C. La permanencia del atún en esta zona depende la programación de la producción.

Limpieza de lomos

El atún se descarga de los coches a mesas de trabajo donde con ayuda de cuchillos, las operarias faenan los trozos de atún, quitándoles la piel, la carne negra y separándolos del espinazo y reduciéndolos a un tamaño menor. En el caso de pescados pequeños que no fueron eviscerados anteriormente se proceden a separar cabeza, cola y vísceras.



Fig. 12a Limpieza de lomos



Fig. 12b Línea de limpieza

Dependiendo de la presentación final, los atunes pueden ser reducidos a lomos enteros (loins) , trozos (chunks) o rallado (flakes).

Llenado de latas

El atún se deposita en una cinta transportadora flanqueada a ambos lados por cintas verticales con guías que a medida que avanza, converge hasta hacer que los lomos, trozos o rallado adopten una forma cilíndrica. Una vez que alcanzan el extremo, el "cilindro de atún" penetra en una lata en la que encaja perfectamente, luego es cortado por una cuchilla y la lata cae a otra cinta transportadora que la llevará al siguiente proceso.



Fig. 13a Llenadora de latas Fig. 13b Llenadora de latas

Es importante que la cantidad de atún sea uniforme en cada lata ya que las variaciones en la cantidad podrían afectar la esterilización que se lleva a cabo después por lo que la máquina envasadora suele tener un

dispositivo que luego de llenarlas las pesa y rechaza las que no están dentro de los límites permisibles.



Fig. 14 Llenado manual de latas

Dependiendo del costo de la mano de obra y especialmente para el atún rallado también existen líneas donde se llenan las latas manualmente.

Dosificación

Las latas con atún pasan por máquinas de dosificación que vierte una determinada cantidad de líquido de cobertura, que normalmente es aceite o agua según se desee a una temperatura de 80°C. Es deseable dar tiempo a que el líquido penetre en el pescado antes de efectuar el cierre de la lata. La función del líquido de cobertura es conservar la humedad y textura del producto. Dependiendo del producto también se

añade una segunda cobertura que generalmente consiste en una mezcla de proteínas y vegetales llamada "broth".



Fig. 15 Adición de líquido de cobertura

Tapado y cerrado de las latas

Mediante una máquina cerradora las latas son tapadas y selladas mediante vacío para que la lata presente ese aspecto comprimido característico y se pueda identificar fácilmente si se ha contaminado con aire. En esta máquina también se produce la codificación de la lata.



Fig. 16 Sellado de latas

Lavado de las latas

En esta etapa, las latas pasan por una máquina donde son lavadas con una solución de agua y detergente para limpiarlas del líquido de cobertura que pueda quedar remanente de la dosificación.



Fig. 17 Lavadora de latas

Llenado de coches para autoclave

En esta etapa operarios llenan carritos metálicos de acero galvanizado con las latas con producto para luego ser ingresados a los autoclaves.

Existen también al final de la línea, dispositivos que llenan automáticamente las bandejas de los coches.

Esterilización

Este paso es uno de los más importantes y críticos ya que en esta etapa las latas ingresan a autoclaves donde mediante vapor a altas

temperaturas se procede a esterilizar su contenido para garantizar la total eliminación de bacterias que hayan sobrevivido a los procesos anteriores. La curva de esterilización depende de las características del autoclave y del producto.



Fig. 18a Autoclaves



Fig. 18b Esterilización de latas

Enfriamiento

Los autoclaves contienen líneas de agua que luego de la esterilización aplican un rociado para enfriar las latas que de otra manera al salir a la atmósfera podrían estallar debido a la alta presión interna.

Secado

Al salir de los autoclaves las latas son colocadas en otra banda transportadora donde pasan a un túnel de secado por aire caliente que elimina la humedad remanente.

Cuarentena

El producto es llevado a un área de almacenamiento donde entrarán en período de cuarentena. Durante este tiempo se toman muestras a las cuales se les hacen análisis de humedad, peso drenado, microbiológico entre otros.

Etiquetado y Empaquetado

Las latas son colocadas en bandas transportadoras que alimentan las máquinas etiquetadoras. Posteriormente mediante la misma banda las latas son transportadas a la encartonadora. Finalmente los cartones con producto son paletizados.



Fig. 19a Etiquetado y empaquetado



Fig. 19b Empacadora de latas

Almacenamiento final

El producto es llevado mediante montacargas a un área de almacenamiento desde donde se lo mantendrá en espera durante un tiempo a fin de hacer pruebas de laboratorio y comprobar su idoneidad para el consumo humano. Transcurrido este tiempo se procederá a su despacho ya sea para consumo interno o para exportación.



Fig. 20 Almacenamiento de producto terminado

CAPÍTULO 2

2. SITUACION ACTUAL DE UNA EMPRESA DEL SECTOR

2.1 Producción presente y futura

La empresa que se tomará como ejemplo para este estudio, es una de las principales comercializadoras de productos de mar en el país. En el rubro de atún en conserva tuvo una participación de casi el 16% del total de las exportaciones durante el 2003.

Esta empresa, cuyas plantas procesadoras estan ubicadas en las costas ecuatorianas, recibe la mayor parte de la materia prima de sus propios barcos atuneros por lo que tiene un total control del giro del negocio, desde que se inicia la pesca hasta la venta final a los distribuidores nacionales e internacionales.

Tanto la pesca como la industrialización del atún se realiza dentro de las más altas normas de calidad exigidas por los organismos internacionales y por los clientes.

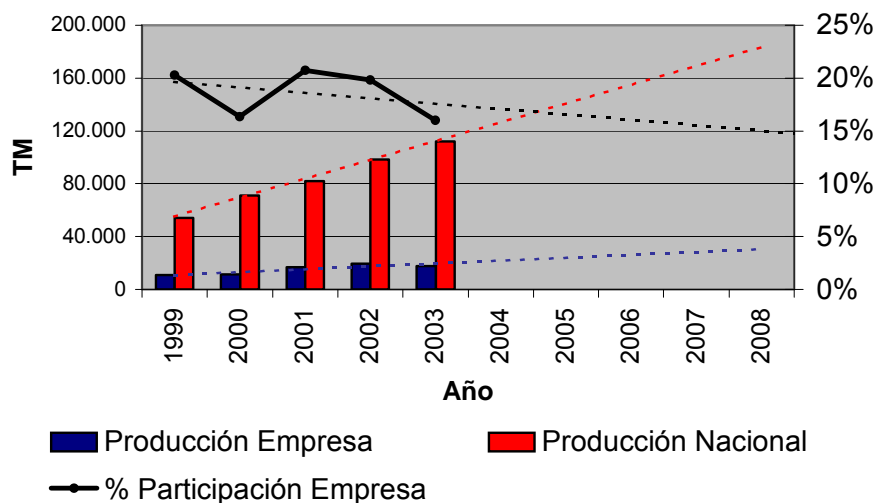


Gráfico 9 Exportaciones de atún en conserva de la empresa (TM)

	1999	2000	2001	2002	2003
Exportaciones Empresa	11.000	11.600	17.000	19.500	17.900
Exportaciones Nacionales	54.230	70.899	82.044	98.495	112.010
Participación Empresa	20,28%	16,36%	20,72%	19,80%	15,98%

Fuente: Revista "Ecuador Pesquero"

La aparición de nuevas plantas procesadoras con capitales extranjeros sumado al aumento en los costos operativos que significó el proceso de dolarización en el país causaron una disminución en la participación de las exportaciones el año 2000. A partir del 2001 el mercado se equilibra nuevamente y las ventas al exterior experimentan un aumento gradual, con lo que se espera exportar cerca de 30.000 toneladas anuales en un periodo de 5 años.

Por otra parte, para toda la industria del atún se proyectan exportaciones que lleguen a las 180.000 toneladas anuales en el año 2008, comparada a las 110.000 toneladas del 2003, lo que es un buen augurio para este sector que incrementaría sus volúmenes en un 63%.

Además del atún en conserva también se exportan los lomos precocinados de atún, lo que representa otro rubro importante para la compañía. Estos lomos luego de ser limpiados no siguen al proceso de enlatado y esterilizado sino que son colocados en fundas y luego se los exporta en contenedores refrigerados.

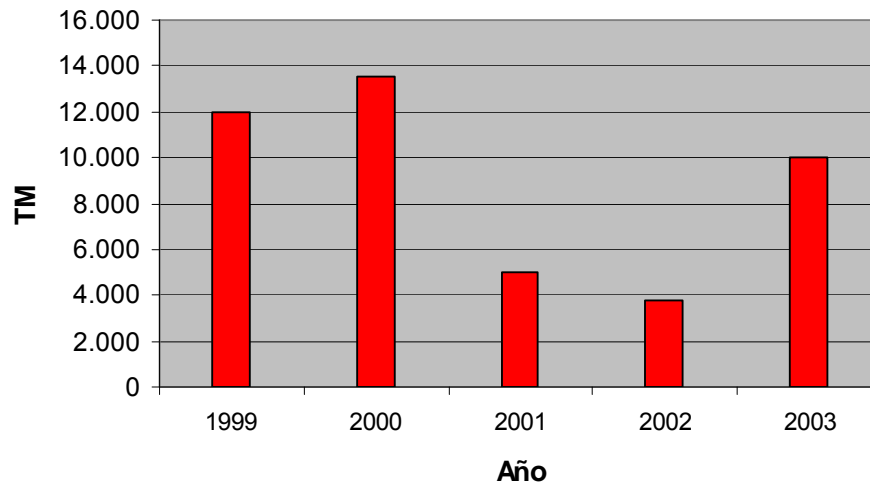


Gráfico 10 Exportaciones de lomos precocinados de la empresa (TM)

Fuente: Empresa

Sumadas las producciones de atun en conserva y atún en lomos se tiene el siguiente gráfico que muestra la producción total:

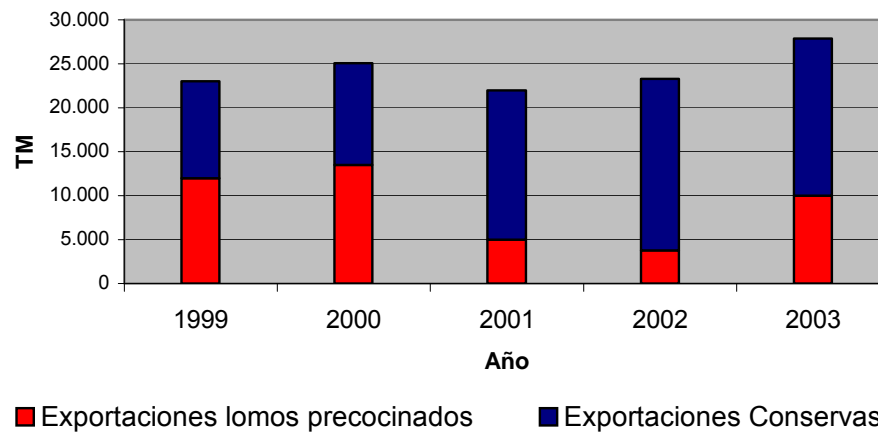


Gráfico 11 Exportaciones de atún de la empresa (TM)

Fuente: Empresa

2.2 Distribución de la planta y flujo de procesos

La distribución de la planta se puede considerar bastante eficiente dada la disposición de sus áreas de acuerdo al flujo de proceso como se puede observar en el diagrama de flujo de proceso de la página 42.

A continuación se exponen brevemente las características de las bodegas y las áreas productivas de la planta.

Bodega de almacenamiento de materia prima

- Capacidad: 2.600 TM
- Sistema de almacenamiento: Racks de 6 niveles
- Temperatura de cámara: -20°C

Area de descongelamiento

- Capacidad: 72 tanques
- Sistema de distribución: Racks de 3 niveles

Area de desbuche y rackeo

- 2 Mesas de trabajo
- 2 Sierras circulares de 85 cm

Area de cocinadores y enfriamiento

- Capacidad: 250 TM/diarias
- Equipo: 8 cocinadores de vapor para 22 coches c/u
2 estaciones de enfriamiento por rociado de agua

Area de Nebulizacion

- Capacidad: 40 Toneladas
- Temperatura: 13-18 °C

Area de Enlatado

Línea A

- Capacidad: 400 latas/min
- Tipos de lata: Redondas, presentaciones de 80 a 350 gramos
- Equipos: Mesa de 50 metros con estaciones individuales
Llenadora 400 latas/min
Dosificadora
Precalentador
Cerradora 600 latas/min
Lavadora
Cargadora de latas

Línea B

- Capacidad: 400 latas/min
- Tipos de lata: Redondas, presentaciones de 80 a 350 gramos
- Equipos: Mesa para limpieza de lomos

Llenadora 400 latas/min

Dosificadora

Pre calentador

Cerradora 600 latas/min

Lavadora

Cargadora de latas

Línea C

- Capacidad: 50 latas/min
- Tipos de lata: Redondas, presentaciones de 950 y 1880 gramos
- Equipos: Mesa para limpieza de lomos

Llenadora 50 latas/min

Dosificadora

Pre calentador

Cerradora 50 latas/min

Lavadora de latas

Area de Esterilización

- Capacidad: 64.000 latas por ciclo de esterilizacion
- Equipos: 8 autoclaves (8000 latas c/u)

Area de Etiquetado, encartonado y paletizado

Línea A

- Descargador de latas
- Lavadora/Secadora
- Etiquetadora

Línea B

- Descargador de latas
- Lavadora/Secadora
- Etiquetadora

Línea C

- Lavadora/Secadora

Area de Almacenamiento de producto terminado

- Capacidad: 588 pallets de 80 cajas c/u
- Sistema de almacenamiento: Racks de 3 niveles
- Temperatura: Ambiente, no mayor a 28°C

Area de almacenamiento de latas, tapas, etiquetas y líquidos de cobertura

- Capacidad : 672 pallets
- Sistema de almacenamiento racks de 3 niveles

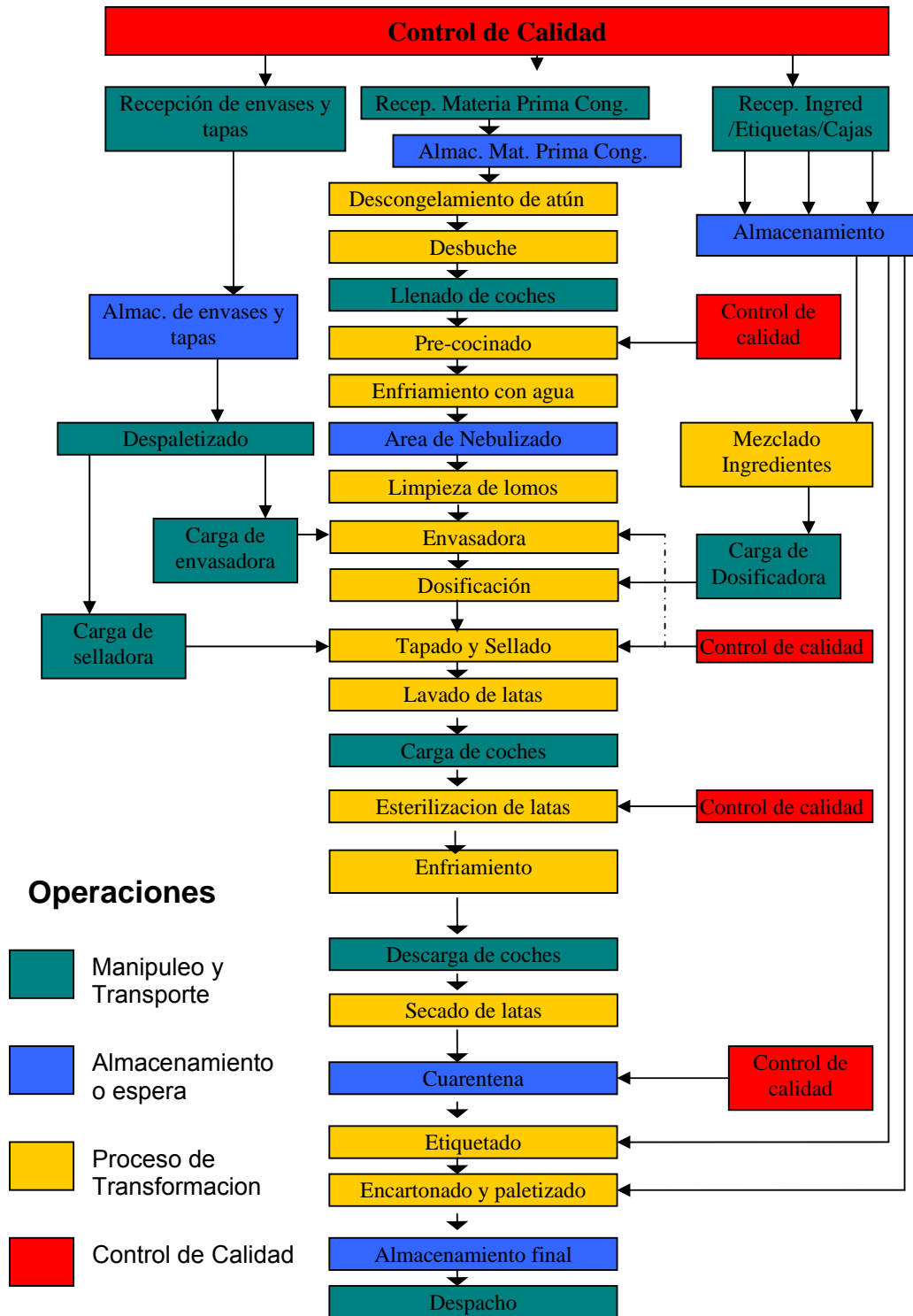


Fig.22 Flujo del proceso productivo

2.3 Tecnología y administración de la producción

La elaboración de conservas de atún en esta empresa se puede categorizar como un proceso semiautomático ya que existen áreas donde los procesos los realizan los operarios como:

- Manipuleo de los pescados enteros
- Descabezado, eviscerado y corte
- Precocinado
- Limpieza de lomos
- Operaciones de transporte en coches

otras son completamente automatizadas como:

- Envasado
- Sellado de tapas
- Pesado
- Etiquetado

Esquema de producción general

Por solo dedicarse a la producción de atún enlatado y en lomos esta fábrica tiene un esquema orientado al producto o también llamado proceso continuo. Para obtener máxima rentabilidad este tipo de

plantas tienen que trabajar a un gran volumen de producción dado que tienen que aprovechar que sus costos variables son mucho menores que sus costos fijos.

Capacidad

La capacidad máxima de la planta varía dependiendo del tamaño de los atunes que entran a producción ya que lotes con ejemplares más grandes requieren mayores tiempo de procesamiento. Actualmente la planta opera procesando un promedio de 250 toneladas diarias de atún.

Política de Inventarios

Se trabaja con un esquema diferente para el producto de exportación y para el producto para el mercado nacional. Para los pedidos de exportación, se ordenan los insumos según los pedidos de los clientes. Para el mercado nacional se hacen pedidos a intervalos fijos de tiempo. Las cantidades las determina el departamento de producción en base a

los pronósticos de ventas que les entrega el departamento de comercialización. Se mantiene un stock de seguridad mínimo que permita absorber retrasos de los proveedores de hasta un mes o más dependiendo del insumo.

Fuerza Laboral

Se mantiene una fuerza laboral estable en función del mínimo nivel de producción por mes. Durante los meses en los que la demanda sube, se contrata más personal y se les paga por día.

Programación de la Producción

Las órdenes de producción las recibe el departamento de producción del área de ventas, la cual lleva un cronograma de los pedidos. Según lo que pidan los clientes se emiten las órdenes en las que se detallarán tipo de producto, cantidad, fecha de entrega y características especiales que hayan solicitado los clientes.

La programación de la producción se la hace en base a un criterio mixto entre darle prioridad a las órdenes mas grandes y a las más inmediatas, aunque siempre se trata de optimizar el balanceo de la producción de

manera tal de que no se pierda producto. Existen también ciertos criterios de desición previamente determinados por el dueño.

Tiempo estándar de un lote en proceso

Comúnmente un lote de producción tarda entre 15 y 18 días en estar listo desde que se ordena el descongelamiento de los pescados hasta que se cumple el período de cuarentena. El tiempo desde el descongelamiento hasta que entra en cuarentena es de aproximadamente 48 horas.

Distribución de la producción

Aunque depende del comportamiento del mercado normalmente la producción para atun en lata esta entre el 65 y el 85% de la producción total mientras el resto corresponde a atun precocido en lomos.

2.4 Rendimientos de materia prima en planta

El rendimiento promedio en el proceso del atún es de un 42%, es decir el 42% de la materia prima se convierte en producto terminado. El resto se pierde en líquidos, desperdicios (espinas, cabeza, cola, piel, visceras) y carne oscuras, según la figura.

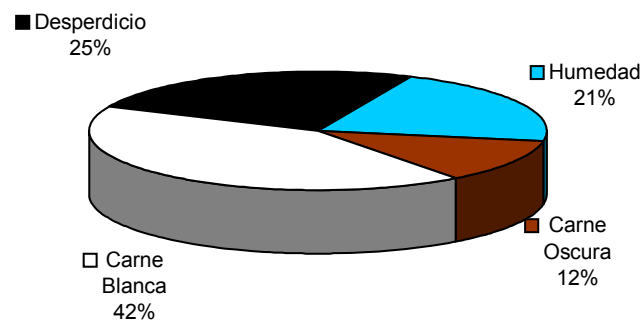


Gráfico 12 Rendimiento estándar del atún en conserva

Fuente: Empresa

El rendimiento o la relación entre el peso de entrada y el peso de salida en cada etapa del procesamiento del atún es muy variable ya que depende de los tamaños de los ejemplares de cada lote de producción.

Los procesos en los que se miden rendimientos son:

1. Eviscerado
2. Precocinado
3. Limpieza de lomos

En el eviscerado o desbuche, los rendimientos varían por cada tipo y tamaño de pescado. Aproximadamente, las vísceras constituyen del 3% al 8% del peso total. La posibilidad de mejorar rendimientos en este proceso es prácticamente despreciable ya que el eviscerado es una operación de alta eficiencia por su simplicidad. Además en el caso de que no se realice bien el desbuche en esta etapa del proceso, se corrige al momento de hacer la limpieza de los lomos.

En el precocinado, la pérdida de peso de los pescados está en el orden del 22 al 26% como consecuencia de la pérdida de agua. Controlar este rendimiento es de crítica importancia, ya que si el precocinado dura unos minutos más de lo necesario el producto pierde más peso del deseado y esto constituye una baja en el rendimiento por kilo procesado. En otras palabras se necesitará procesar más pescado para completar un peso determinado.

En el proceso de limpieza de los lomos existen 2 factores que afectan el rendimiento :

1. Cantidad de carne negra (no útil para ser comercializada como atún)
2. Destreza del operario para limpiar el atún

En lo que se refiere a carne negra, mientras más carne negra tenga el pescado, menor rendimiento tendrá el pescado. La destreza del operario en limpiar el atún se puede medir de formas: en cuanto carne deja en la espina del pescado y cuanto de la carne separada está en lomos y cuanto está en trozos.

En el primer caso se afecta el rendimiento total ya que al quedar carne en los desperdicios se pierde completamente. El segundo caso afecta al rendimiento por lomo ya que aunque parte de la carne esté en trozos y no se pierde, se la utiliza en un producto de menor valor comercial. (chunks o flakes)

2.5 Cuantificación de pérdidas en el precocinado

Dado que las pérdidas durante el precocinado son estimativamente las que más están afectando los rendimientos de la planta en cuanto al desperdicio de materia prima, se realizó una prueba de precocinados para estimar la posible cantidad de pérdidas como consecuencia de la operación "al ojo" de las cocinas.

Para calcular los rendimientos se utiliza la siguiente relación:

$$\text{Rendimiento} = \text{Peso Final} / \text{Peso Inicial}$$

En planta se ha determinado que el rendimiento óptimo para atún Skipjack de 4 a 6 libras está en el orden del 76%, es decir que hay una pérdida de peso del 24%. Valores más bajos de rendimiento, causan pérdidas económicas por peso. Por otro lado, rendimientos con pérdidas de peso de menos del 24% producen precocinados deficientes que a su vez también generan pérdidas económicas.

Se tomaron 10 muestras por cada día correspondientes a 10 precocinados de atún Skipjack de entre 2 y 4 libras escogidos

aleatoriamente entre turnos de día y turnos de noche. El período durante el cual se tomaron las muestras fue de 30 días.

Se procedió a pesar los coches vacíos y llenos que entraban a los cocinadores con una capacidad de 22 coches cada uno. Por cada cocinador se registró el peso de los coches de manera tal de registrar la cantidad de pescado que entró a cada cocinador. Al terminar el precocinado, el cual se controla mediante tiempos previamente establecidos, se volvieron a pesar los coches de manera tal de registrar el peso del coche después del precocinado. Luego se procedió a tabular los rendimientos y las pérdidas evitables o innecesarias según la siguiente relación.

Pérdidas evitables= Rendimiento óptimo (76%)-Rendimiento Real

La tabla 1 muestra la forma como se tabularon los datos para un día cualquiera.

Las diferencias positivas son aquellas que representan pérdidas de rendimiento por consecuencia de pérdidas de humedad innecesarias. Las diferencias negativas son aquellas que representan una precocción la que se ha sacado el atun antes de tiempo y que tienen como

consecuencia pérdidas de rendimiento en la limpieza de lomos, dado que la carne cruda es tratada como desperdicio.

Muestra	Peso Inicial (Toneladas)	Peso final (Toneladas)	Rendimiento (%)	Pérdidas innecesarias (%)
1	5,19	3,87	74,49	1,51
2	5,03	3,88	77,01	-1,01
3	4,97	4,00	80,53	-4,53
4	4,82	3,79	78,65	-2,65
5	5,07	4,04	79,62	-3,62
6	4,88	3,59	73,68	2,32
7	4,92	3,94	80,17	-4,17
8	5,12	3,71	72,59	3,41
9	5,11	3,90	76,31	-0,31
10	5,07	3,96	78,13	-2,13

Tabla 1 Rendimientos de precocinados en un día

Elaborada por: Abel Olivares

Para este caso y dado que no se tienen datos de la relación de pérdidas en rendimiento durante la limpieza contra rendimientos en precocinado en los que no se ha alcanzado la completa cocción del atún, se aproximará estas pérdidas a la diferencia entre el rendimiento óptimo y el real, tal como se hace para el caso en el que las pérdidas son por sobrecocinado. De esta manera se tomará el valor absoluto del valor de

las pérdidas evitables en el caso que estas sean negativas y se obtiene la media, tal como muestra la Tabla 2.

Muestra	Peso Inicial (Toneladas)	Peso final (Toneladas)	Rendimiento (%)	Pérdidas innecesarias (%)
1	5,19	3,87	74,49	1,51
2	5,03	3,88	77,01	1,01
3	4,97	4,00	80,53	4,53
4	4,82	3,79	78,65	2,65
5	5,07	4,04	79,62	3,62
6	4,88	3,59	73,68	2,32
7	4,92	3,94	80,17	4,17
8	5,12	3,71	72,59	3,41
9	5,11	3,90	76,31	0,31
10	5,07	3,96	78,13	2,13
			Media	2.57%
			Desv.Estánd.	1.38%

Tabla 2 Rendimientos de precocinados (con media de pérdidas)

Elaborada por: Abel Olivares

Este procedimiento se repitió 30 veces por lo que se obtuvieron 30 medias detalladas en la Tabla 3.

Para estimar la media real de la población de precocinados de Skipjack de 4 a 6 libras, se aplica el teorema de distribución muestral de la media:

"Si una muestra aleatoria de tamaño n se elige de una población que tiene media μ y variancia σ^2 entonces la media de las muestras es un valor de una variable aleatoria cuya distribución tiene media μ y varianza σ^2/n "

2,57%	3,35%	3,58%	2,99%	2,15%	3,79%	1,91%	3,85%	3,72%	2,45%
2,94%	3,63%	2,92%	3,08%	3,49%	2,53%	4,25%	2,95%	3,21%	3,38%
4,36%	3,57%	3,20%	4,59%	3,34%	2,22%	3,42%	4,04%	4,01%	2,45%

Tabla 3 Medias de rendimiento de precocinado en un mes

Elaborada por: Abel Olivares

Es decir con las medias de las muestras podemos estimar , la media real de la población, en este caso el promedio en pérdidas del total de los cocinados. La desviación estándar del total de los cocinados no es de interés para el análisis ya que la dispersión de los datos no influye en las cantidades totales de pérdidas.

Para estimar el promedio de las pérdidas por sobrecocinado se calcula la media M y la desviación estándar S de la distribución de los 30 valores anteriormente obtenidos:

$M = 3.26\%$, $S = 0.68\%$

Con estos valores y utilizando el teorema de límite central, se tienen los siguientes intervalos de confianza para intuir que la media de las pérdidas en los precocinados está entre dichos valores.

Confiabilidad	Límite inferior	Límite Superior
90%	3.06%	3.47%
95%	3.02%	3.51%
97.50%	2.98%	3.55%
99%	2.95%	3.58%

Tabla 4 Intervalos de confianza para el rendimiento promedio

Elaborada por: Abel Olivares

Se puede asegurar con una confianza del 99% que las pérdidas innecesarias de rendimiento tienen un promedio entre el 2.95% y el 3.58%. Lo que para nuestro análisis significaría que en el mejor de los casos (menos pérdida en rendimiento) tendría un valor de 2.94% y en el peor de ellos (mayor pérdida en rendimiento) uno de 3.58%.

Es importante notar que los valores obtenidos se refieren a la media o promedio de las pérdidas en rendimiento por concepto de sobrecocinamiento y no a los valores máximos o mínimos esperados en un cocinado cualquiera, lo cual como ya se anotó no es de importancia para nuestro análisis.

Pérdidas diarias de producto

Si se asume que las pérdidas porcentuales en el precocinado del Skipjack, son similares a las de los otros tipos de atún y se utiliza la capacidad máxima de producción de 250 Toneladas diarias, la cantidad de peso que se pierde diariamente por sobrecocinado variaría entre:

- Con pérdidas del 2.94% en rendimiento: $250 \text{ Ton} \times 2.94\% = 7,35 \text{ TM}$
- Con pérdidas del 3.58% en rendimiento: $250 \text{ Ton} \times 3.58\% = 8,95 \text{ TM}$

Para datos mas precisos sería conveniente realizar pruebas de rendimiento similares con todas las especies de atunes asignándoles sus intervalos de confianza respectivos.

Pérdidas diarias en dólares

Al precio en Octubre del 2004, según datos de la Subsecretaría de Recursos Pesqueros, el atún Skipjack congelado de mas de 7.5 libras puesto en tierra se cotiza en aproximadamente 600 dólares la tonelada.

Dado que el atún Skipjack constituye la especie más capturada para la elaboración de conservas, aproximadamente el 72% en el 2003 según el

Instituto Nacional de Pesca, y que el departamento de contabilidad de la empresa no ha asignado un costo a la materia prima precocinada sin limpiar, se asumirá este valor para el cálculo de las pérdidas en dólares.

- Con pérdidas del 2.94% en rendimiento: 7,35TM x US\$600 = S\$4.410
- Con pérdidas del 3.58% en rendimiento: 8,95TM x US\$600 = S\$5.370

Estimación de las pérdidas anuales

En la tabla 4 se observa la cantidad de producto terminado que se proceso y la cantidad de atún congelado que ingresó a precocinado en los últimos 5 años.

	1999	2000	2001	2002	2003
Producto terminado	28.750	31.772	27.160	29.872	34.875
Atun a precocinado	60.375	65.094	53.058	59.744	70.590

Tabla 5 Producción y materia prima procesada (TM)

Fuente: Empresa

Asociando esta tabla a los valores estimados de ineficiencia durante el precocinado se obtienen las siguientes pérdidas de materia prima, resumidas en la Tabla V.

	Materia Prima perdida			
	2000	2001	2002	2003
Ineficiencia del 2.94%	1.914	1.560	1.756	2.075
Ineficiencia del 3.26%	2.122	1.730	1.948	2.301
Ineficiencia del 3.58%	2.330	1.899	2.139	2.527

Tabla 6 Materia prima perdida por año(TM)

Elaborada por: Abel Olivares

Finalmente asignando un valor de US\$600,00 por tonelada a la materia prima precocinada, se obtienen las pérdidas económicas debido a la ineficiencia del proceso.

	Costo de materia prima perdida (US\$)			
	2000	2001	2002	2003
Ineficiencia : 2.94%	1.148.261	935.938	1.053.877	1.245.214
Ineficiencia: 3.26%	1.273.242	1.037.809	1.168.585	1.380.747
Ineficiencia: 3.58%	1.398.223	1.139.680	1.283.292	1.516.281

Tabla 7 Costos de materia prima perdida (US\$)

Elaborada por: Abel Olivares

CAPITULO 3

1. ESTUDIO TÉCNICO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE PRECOCINADO

3.1 Fundamentos del precocinado de atún

Los propósitos del precocinado en el atún son los siguientes:

- Deshidratación parcial de la carne para evitar que estos fluidos aparezcan posteriormente en el proceso de cocción en las latas (Proceso de esterilización).
- Coagular la proteína de la carne y aflojarla de la espina
- Mejorar las propiedades de la carne en cuanto a textura y sabor

Existen 2 tipos de cocinado:

- Cocinado en salmuera
- Cocinado en vapor

Los cocinadores a salmuera están formados por una serie de compartimientos en los que se mantiene salmuera calentada a vapor donde son introducidos los atunes. Este es un método en el que el atún no pierde humedad, pero se sacrifica calidad en sabor y textura. Actualmente es un método poco utilizado, salvo requerimiento especial de algún cliente.



Fig. 23a Cocinador de salmuera **Fig. 23b Cocinador de salmuera**

El cocinado a vapor se lo realiza en estructuras de forma rectangular construidas en acero de 1/4 de pulgada reforzada con tetones de hierro de aspecto cúbico con una compuerta anterior y una posterior y cuya capacidad oscila entre las 2 y 5 toneladas distribuidas en coches o racks donde se coloca el pescado. Están equipados con entradas para vapor, salidas para drenaje de condensado y válvulas de venteo y alivio o "bleeders" y por lo general también tienen termómetros y manómetros. Los cocinadores modernos generalmente tienen forma cilíndrica y son construidos en acero inoxidable.

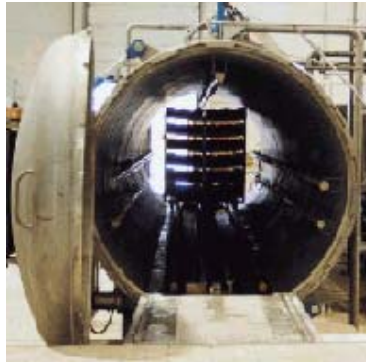


Fig.24 Cocinador a vapor

Las ventajas¹ del cocinado al vapor en relación al cocinado en salmuera son:

1. Mejor Color
2. Mejor Presentación
3. Cocción Uniforme
4. Mayor Rendimiento
5. Mejor Retención Líquidos y Proteínas
6. Menos tiempo de Proceso Completo

¹Tomado de <http://www.foodcanning.com>

3.1.1 Física y bioquímica del precocinado

El proceso de cocinado tiene un dramático efecto sobre la textura de las carnes en general. El incremento de temperatura causa mayor o menor degradación de las proteínas en las fibras musculares lo que causa una disminución en la capacidad de retener líquido y que los tejidos se encojan volviéndose más duros y compactos. Por otra parte el tejido conectivo se convierte en gelatina y es por esto que la carne cocinada tiende a desprenderse con mayor facilidad.

Se puede resumir el proceso de cocinado de la carne como un ablandamiento del tejido conectivo y un endurecimiento de las fibras musculares como resultado de la coagulación de las proteínas y la pérdida de agua.

Para el caso particular del proceso industrial del atún, estos entran al cocinador previa descongelación parcial a aproximadamente -3°C . Luego su temperatura aumenta a medida que el cocinador se va llenando de vapor y la temperatura ambiente va aumentando. Durante el cocinado se distinguen 3 etapas que involucran cambios bioquímicos de la carne los cuales generan presiones internas que forzan el

transporte de agua hacia la superficie y la consiguiente pérdida de humedad y cambio en las propiedades mecánicas.

Como consecuencia del proceso de endurecimiento de la carne y la gelatinización del tejido conectivo, la labor de limpieza del atún se vuelve mucho más sencilla y eficiente por lo que el proceso de precocinado no es sólo importante para la calidad final del producto sino también para el rendimiento general de la operación.

Cambios bioquímicos

- Degradación de la miosina: Ocurre principalmente entre los 40 y 55°C y es la causante de los cambios en las propiedades contráctiles, elásticas y de birrefringencia de la carne.
- Degradación del colágeno: Ocurre principalmente entre los 55 y 64°C y es el causante del ablandamiento del tejido conectivo que se convierte en gelatina.
- Degradación de la actina: Ocurre principalmente entre los 64 y 71°C y causa cambios similares en las propiedades

de la carne similares a los producidos por la degradación de la miosina. Normalmente en las plantas procesadores no se trabaja en este rango de temperaturas salvo requerimientos especiales de los clientes.

Cambios físicos (contenido de humedad)

El atún crudo contiene entre un 68 y 76% de agua. Durante el precocinado, el agua, la gelatina y otras sustancias son removidas del pescado y se depositan junto al condensado del vapor que recorre todo el cocinador. El contenido de agua del atún cae a valores entre el 65 y el 71% después del precocinado.

Para obtener un adecuado cocinado se requiere que el punto crítico o punto más frío del atún en proceso alcance una temperatura que oscila entre los 50 y 70 grados centígrados, dependiendo de la variedad de atún y la calidad de la materia prima.

Mantener el cocinado más allá de la temperatura ideal sólo genera pérdidas en peso que no agregan ningún valor al producto, e inclusive afectan negativamente su calidad ya que los

mercados internacionales requieren ciertos valores mínimos de humedad en el producto.

En la figura siguiente se observa la relación obtenida por interpolación experimental entre el contenido de agua del atún yellowfin y la temperatura en el centro del atún (o temperatura de espina) al final de un precocinado.

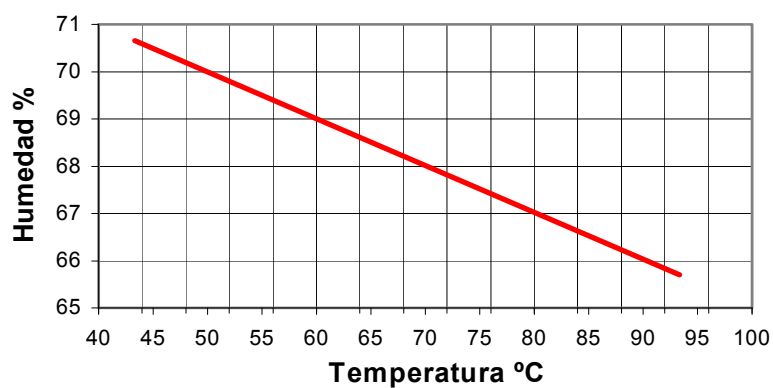


Gráfico 13 Variación del contenido de humedad con la temperatura

Fuente: Borgstrom Georg, "Fish as Food" Vol 4

3.2 Modelo matemático del proceso de cocinado

Se podría expresar la relación que gobierna las variables en un proceso de cocinado según la ecuación de transferencia de calor.

$$\frac{\rho C_p}{k} \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \quad (1)$$

Donde,

ρ = densidad del atún (kg/m³)

C_p = calor específico del atún (J/kg °C)

k = conductividad térmica del atún (W/m °C)

T = temperatura

t = tiempo

x, y, z = distancia en los ejes coordenados

Según las características geométricas de lo que se va a cocinar tendríamos 2 casos:

- a) Atunes enteros (sección elíptica)
- b) Filetes de sección rectangular

a) Modelo de la ecuación del calor para atunes enteros

Dadas las características geométricas se cambia a un sistema de coordenadas cilíndricas y se tiene la ecuación:

$$\frac{\rho C_p}{k} \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \quad (2)$$

r = distancia del centro a la superficie

θ = ángulo en la sección transversal

z = distancia longitudinal

Si se asume que el diámetro del filete es igual a lo largo del cuerpo y que la transferencia de calor se realiza exclusivamente a través del área lateral del pescado de manera uniforme, se tiene que:

$$\frac{\partial T}{\partial z} = \frac{\partial T}{\partial \theta} = 0$$

y se puede reducir la ecuación a su forma unidimensional en coordenadas polares:

$$\frac{\rho C_p}{k} \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} \quad (3)$$

Definiendo el centro del pescado como $r=0$ y la distancia del centro a la superficie como $r=L$ se asumen las siguientes condiciones:

Condición inicial: la temperatura inicial es la misma en toda la sección transversal del pescado.

$$T = T_0, \quad 0 \leq x \leq L, \quad t = 0$$

Condición de frontera 1: no hay transferencia de calor desde el centro del pescado hacia ningún lado.

$$\frac{\partial T}{\partial r} = 0, \quad r = 0, \quad t \geq 0$$

Condición de frontera 2: la temperatura en la superficie varía según la diferencia de temperaturas entre la superficie y el ambiente, donde k es la conductividad térmica del atún y h el coeficiente de transferencia de calor por convección.

$$-k \frac{\partial T}{\partial r} = h(T_a - T_s) \quad , \quad r = L, \quad t > 0$$

La solución para este tipo de ecuación está dada por la siguiente relación:

$$T(r, t) = T_e(r) + \sum_{n=1}^{\infty} A_n e^{-\frac{\rho C_p \lambda_n^2 t}{k}} J_0(\lambda_n r) \quad (4)$$

Donde la temperatura de estado estacionario cuando t tiende al infinito obedece a:

$$T_e(r) = \frac{hr(T_a - T_i)}{hL + k} + T_i$$

Los λ_n se obtienen de las soluciones de la ecuación trascendental:

$$\frac{J_0(\lambda L)}{J_1(\lambda L)} - \frac{k\lambda}{h} = 0$$

donde J_0 y J_1 son las funciones de Bessel de orden 0 y 1 respectivamente. Por otra parte los coeficientes A_n se obtienen desarrollando la serie de Bessel definida para $n = 1, 2, 3, 4, \dots$

$$A_n = \frac{2}{J_1^2(\lambda_n)} \int_0^L \frac{r^2 h (T_i - T_a)}{ha + k} J_0(\lambda_n r) dr$$

En la figura 26 se observa el comportamiento de la temperatura a lo largo de una sección transversal del atún en el estado transiente.

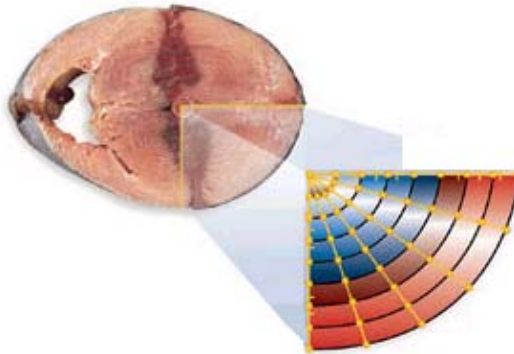


Fig.25 Distribución de temperatura durante el precocinado

Fuente: Food Engineering Magazine

b) Modelo de la ecuación del calor para filetes de sección rectangular

En este caso, que puede ser el de los atunes más grandes se elige la ecuación (1) para geometría rectangular y se asume que no existe conducción de calor en la dirección longitudinal

$$\frac{\partial T}{\partial z} = 0$$

Con lo que la ecuación (1) se reduce a

$$\frac{\rho C_p}{k} \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \quad (5)$$

Definiendo los bordes verticales como $x=0$ y $x=a$ y los bordes horizontales como $y=0$ y $y=b$, se asumen las siguientes condiciones:

Condición inicial: la temperatura inicial en toda la sección transversal es la misma

$$T = T_0, \quad 0 \leq x \leq a, \quad 0 \leq y \leq b \quad t = 0$$

Condición de frontera 1: transferencia de calor por convección en los bordes verticales:

$$-k \frac{\partial T}{\partial x} = h(T - T_a) \quad , x=0, \quad x=a, \quad t > 0$$

o despejando para $T(y)$:

$$T(y) = T_{(a)} - \frac{k}{h} \frac{\partial T}{\partial x} \quad , x=0, \quad x=a, \quad t > 0$$

Condición de frontera 2: transferencia de calor por convección en los bordes horizontales:

$$-k \frac{\partial T}{\partial y} = h(T - T_a) \quad , y=0, \quad y=b, \quad t > 0$$

o despejando para $T(x)$:

$$T(x) = T_a - \frac{k}{h} \frac{\partial T}{\partial y}, \quad y = 0, \quad y = b, \quad t > 0$$

La solución para este tipo de ecuación está dada por la siguiente relación:

$$\begin{aligned}
 T(x, y, t) = & T_e(x, y) + \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} A_{mn} \operatorname{sen}\left(\frac{n\pi x}{a}\right) \operatorname{sen}(\lambda_m y) e^{\frac{-\rho C_p (\lambda_m^2 + \frac{n^2 \pi^2}{a^2}) t}{k}} \\
 & + \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{i=0}^{\infty} B_{in} \operatorname{sen}\left(\frac{n\pi x}{a}\right) \left(\cos(\lambda_i y) - \frac{h}{k\lambda_i} \operatorname{sen}(\lambda_i y) \right) e^{\frac{-\rho C_p (\lambda_i^2 + \frac{n^2 \pi^2}{a^2}) t}{k}} \\
 & + \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} C_{mn} \operatorname{sen}\left(\frac{n\pi y}{b}\right) \operatorname{sen}(\lambda_m x) e^{\frac{-\rho C_p (\lambda_m^2 + \frac{n^2 \pi^2}{b^2}) t}{k}} \\
 & + \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{i=0}^{\infty} D_{in} \operatorname{sen}\left(\frac{n\pi y}{b}\right) \left(\cos(\lambda_i x) - \frac{h}{k\lambda_i} \operatorname{sen}(\lambda_i x) \right) e^{\frac{-\rho C_p (\lambda_i^2 + \frac{n^2 \pi^2}{a^2}) t}{k}} \quad (6)
 \end{aligned}$$

Los λ_m y λ_i se obtienen de las soluciones de las ecuaciones trascendentales:

$$\tan \lambda + \frac{k \lambda}{h} = 0$$

$$\tan \lambda - \frac{k \lambda}{h} = 0$$

Por otra parte los coeficientes A_{mn} , B_{in} , C_{mn} y D_{in} , de la ecuación (17) se obtienen igualando cada miembro con sumatorias a la condición inicial del estado transiente ($T_0 - T_e$) y despejándolos según el desarrollo generalizado de Fourier para un conjunto de funciones ortogonales:

$$A_{mn} = \frac{2}{a \int_0^b \text{sen}^2(\lambda_m y) dy} \int_0^b \int_0^a (T_0 - T_e) \text{sen}\left(\frac{n\pi x}{a}\right) \text{sen}(\lambda_m y) dx dy$$

$$B_{in} = \frac{2}{a \int_0^b \left(\cos \lambda_i y - \frac{h}{k \lambda_i} \text{sen} \lambda_i y\right)^2 dy} \int_0^b \int_0^a (T_0 - T_e) \text{sen}\left(\frac{n\pi x}{a}\right) \left(\cos \lambda_i y - \frac{h}{k \lambda_i} \text{sen} \lambda_i y\right) dx dy$$

$$C_{mn} = \frac{2}{b \int_0^a \text{sen}^2(\lambda_m x) dx} \int_0^a \int_0^b (T_0 - T_e) \text{sen}\left(\frac{n\pi y}{a}\right) \text{sen}(\lambda_m x) dy dx$$

$$D_{in} = \frac{2}{b \int_0^a \left(\cos \lambda_i x - \frac{h}{k \lambda_i} \text{sen} \lambda_i x\right)^2 dx} \int_0^a \int_0^b (T_0 - T_e) \text{sen}\left(\frac{n\pi y}{a}\right) \left(\cos \lambda_i x - \frac{h}{k \lambda_i} \text{sen} \lambda_i x\right) dy dx$$

Te es la temperatura de estado estacionario y que obedece a la relación:

$$T_e(x, y) = \sum_{n=1}^{\infty} \left(E_n \operatorname{senh} \left(\frac{n\pi(b-y)}{a} \right) + F_n \operatorname{senh} \left(\frac{n\pi y}{a} \right) \right) \operatorname{sen} \left(\frac{n\pi x}{a} \right) \\ + \sum_{n=1}^{\infty} \left(G_n \operatorname{senh} \left(\frac{n\pi(a-x)}{b} \right) + H_n \operatorname{senh} \left(\frac{n\pi x}{b} \right) \right) \operatorname{sen} \left(\frac{n\pi y}{b} \right)$$

Los coeficientes E_{mn} , F_{mn} , G_{mn} y H_{mn} , están dados por

$$E_n = \frac{\frac{2}{a} \int_0^a \left(\frac{-k}{h} \frac{\partial T}{\partial y}(x, 0) + Ta \right) \operatorname{sen} \left(\frac{n\pi x}{a} \right) dx}{\operatorname{senh} \left(\frac{n\pi b}{a} \right)}$$

$$F_n = \frac{\frac{2}{a} \int_0^a \left(\frac{-k}{h} \frac{\partial T}{\partial y}(x, b) + Ta \right) \operatorname{sen} \left(\frac{n\pi x}{a} \right) dx}{\operatorname{senh} \left(\frac{n\pi b}{a} \right)}$$

$$G_n = \frac{\frac{2}{b} \int_0^b \left(\frac{-k}{h} \frac{\partial T}{\partial x}(0, y) + Ta \right) \operatorname{sen} \left(\frac{n\pi y}{b} \right) dy}{\operatorname{senh} \left(\frac{n\pi a}{b} \right)}$$

$$H_n = \frac{\frac{2}{b} \int_0^b \left(\frac{-k}{h} \frac{\partial T}{\partial x}(a, y) + Ta \right) \operatorname{sen} \left(\frac{n\pi y}{b} \right) dy}{\operatorname{senh} \left(\frac{n\pi a}{b} \right)}$$

3.2.1 Validez del modelo matemático.

Las ecuaciones (4) y (6) se pueden resolver para el centro del pescado $r=0$ o $(x,y)=(a/2, b/2)$, y de esta manera calcular la temperatura en la espina o en el centro del filete en cualquier tiempo de forma analítica con ayuda de una hoja electrónica o numérica si se dispone de un programa que maneje algoritmos de diferencias o elementos finitos.

Sin embargo el tiempo de cocinado depende de las constantes k , ρ , C_p , T_0 , h y T_a correspondientes al coeficiente de transferencia térmica, densidad, calor específico del pescado, coeficiente de transferencia por convección, la temperatura inicial en la espina y la temperatura inicial del cocinador. Dadas las inexactitudes que se producen en algunos de estos parámetros como consecuencia de una asignación teórica, el error total en la determinación de la temperatura de espina real es mucho mayor.

Por ello aún cuando además del modelo matemático, existen las tablas con tiempos experimentales de cocinado determinados para cada especie y según el tamaño de los pescados, dado que las constantes físicas antes mencionadas varían según la zona de pesca y época del año, tratamiento térmico previo de

congelación y descongelación, el control de cocinado exclusivamente mediante tiempos no sería recomendable.

Dado que los cambios en la constitución del pescado están mucho más directamente relacionados con la temperatura que con el tiempo, es conveniente realizar un control de cocinado por temperaturas.

No obstante es importante controlar el gradiente de Temperatura / tiempo de manera tal que no solo baste conocer la temperatura real del pescado sino también su velocidad de cocinado con el fin de obtener óptimos resultados. Para determinar este gradiente y a falta de otros estudios, es necesario apoyarse en datos experimentales. Luego de la determinación del gradiente experimental para cada intervalo de tiempo, mediante una relación matemática obtenemos la temperatura del cocinador apropiada para mantener dicho gradiente.

3.2.2 Determinación del gradiente Temperatura tiempo

El gradiente de temperatura tiempo en la espina o el centro del filete se lo puede obtener para cada instante de tiempo t , derivando las ecuaciones (4) y (6) con respecto al tiempo y

reemplazando las coordenadas para el centro del pescado, temperatura inicial y todas las constantes físicas, lo que daría una ecuación dependiente del tiempo y de la temperatura del cocinador **f(t,Ta)**.

Para saber cual debe ser el valor adecuado de la temperatura del cocinador Ta para cada tamaño, se utiliza el gradiente temperatura tiempo obtenido experimentalmente según la tabla 8.

to_i (min)	tf_i (min)	% tiempo	To (°C)	Tf (°C)	Grad (°C/min)
0	11,6	10%	2,5	5	0,22
11,6	23,2	10%	5	8	0,26
23,2	34,8	10%	8	13	0,43
34,8	46,4	10%	13	24	0,95
46,4	58	10%	24	32,5	0,73
58	69,6	10%	32,5	41	0,73
69,6	81,2	10%	41	48	0,60
81,2	92,8	10%	48	55	0,60
92,8	104,4	10%	55	61	0,52
104,4	116	10%	61	67	0,52

Tabla 8 Gradiente de temperatura durante el precocinado

Elaborada por: Abel Olivares

Esta tabla representa los valores en la temperatura de espina para un pescado determinado en diferentes intervalos de tiempo y se calcula el gradiente temperatura tiempo promedio para 10 intervalos que corresponden cada uno al 10% del tiempo total de cocción (116 minutos) mediante la siguiente relación:

$$\text{Grad} = \frac{T_f - T_o}{t_f - t_o} \quad (7)$$

A continuación se reemplaza en $f(t, T_a)$ el valor central de tiempo en cada intervalo $(t_{fi} - t_{oi})/2 + t_{oi}$ y se iguala esta ecuación al gradiente experimental para el intervalo correspondiente.

$$f\left(\frac{t_{fi} - t_{oi}}{2} + t_{oi}, T_a\right) = \text{Gradiente experimental} \quad (8)$$

Finalmente se despeja para T_a y se obtiene el valor que debe tener T_a en cada intervalo de tiempo del precocinado.

$$T_a = g\left(\frac{t_{fi} - t_{oi}}{2} + t_{oi}, \text{Grad} \cdot \exp\right) \quad (9)$$

3.3 Fundamentos de la ingeniería de control

La ingeniería de control tiene por objeto el manejo automático de un proceso que de otra manera tendría que ser controlado manualmente. En muchas aplicaciones donde existe se requiere un fino control o existen muchas variables, la automatización es fundamental para asegurar la calidad y aumentar la eficiencia.

Según el tipo de variables, el control puede ser de procesos continuos o de procesos discretos. El control de procesos discretos trata con sistemas que manejan variables discretas, es decir que cada una sólo puede tomar 2 valores. El control de procesos continuos trata con sistemas de variables que toman una infinidad de valores.

En este capítulo se expondrán los fundamentos de procesos de variables continuas.

Terminología básica de los sistemas automáticos

- **Variable controlada:** ésta es la variable que se debe mantener o controlar dentro de un valor deseado
- **Punto de control:** es el valor al cual se quiere mantener la variable controlada

- **Variable manipulada:** ésta es la variable que utiliza el sistema para mantener en el punto de control a la variable controlada
- **Perturbación:** cualquier variable causante de desviaciones en la variable controlada
- **Error:** diferencia entre el punto de control y la variable controlada

3.3.1 Componentes físicos en un sistema de control

Todo sistema de control está formado por cuatro elementos básicos:

- Sensor o elemento primario
- Transmisor o elemento secundario
- Controlador o cerebro del sistema
- Elemento final de control

Estos componentes están destinados a realizar las siguientes operaciones:

- **Medición:** etapa en la que mediante un sensor se mide el valor de la variable controlada y se la transmite al controlador

- **Decisión:** etapa en la que el controlador o cerebro decide que acción tomar según la información que recibe del sensor-transmisor y el punto de control predeterminado. La decisión está dada por la señal de corrección.
- **Acción:** como resultado de la decisión del controlador el elemento final de control ejecuta la acción en el sistema mediante la variable manipulada.

SENSORES

Los sensores realizan la función de medición de la variable controlada en los sistemas por retroalimentación. La variable en contacto con el sensor provoca un fenómeno físico que va de acuerdo a la intensidad de la variable.

Las variables que más comúnmente se miden en línea en los procesos industriales son: temperatura, presión, flujo y nivel. Las características principales de los sensores aparte de su aplicación son: el rango, la precisión, la repetibilidad y la respuesta dinámica.

Entre los sensores de temperatura se tiene los siguientes:

- **Termocuplas:** sensor que trabaja con el principio de la generación de fuerza electromotriz debido a la diferencia de temperaturas en las 2 juntas de 2 metales distintos. Una de las juntas se mantiene a temperatura conocida (ambiente) y la otra está en contacto con el medio que se requiere medir. La fem generada está en relación a la diferencia de temperaturas. Generalmente se utilizan para valores de temperatura extremos por ser más precisos en estos rangos.



Fig.26a Termocuplas

Fig.26b Termocuplas

- **RTD:** sensor que trabaja con el principio del cambio de la resistencia eléctrica en función de la temperatura. El transmisor mide la resistencia de la RTD en contacto con el medio que se requiere medir y genera una señal.

Generalmente se utilizan para valores de temperatura de rango medio por ser más precisos en estos intervalos.



Fig.27 RTD con cabezal de conexión

Tanto termocuplas como rtd consisten generalmente en una punta de prueba rígida de una longitud y diámetro determinados (dependiendo de la aplicación) y un cable conductor flexible.

Otros dispositivos de medición de temperaturas son los termómetros de mercurio*, bimetálicos, a gas, a vapor e infrarrojos pero estos no se utilizan generalmente para aplicaciones de control automático modernas.

TRANSMISORES

Son elementos que reciben la señal de entrada de termocuplas (fem) y de las rtds (resistencia) para generar una señal proporcional de corriente que sirve como señal de entrada al controlador.



Fig.28 Transmisores o "transmitters"

CONTROLADORES

Como se dijo anteriormente el controlador es el que toma la decisión en el sistema de control y para ello:

1. Compara el valor de la señal del proceso que le llega del sensor-transmisor contra el valor del punto de control
2. Envía la señal apropiada al elemento final de control para que este ejecute la acción de control

Existen varios tipos de controladores:

- **Controladores analógicos:** trabajan con variables continuas (señales analógicas)

- **Controladores digitales (PLC):** trabajan con variables binarias (señales digitales)
- **Controladores neumáticos:** su señal de salida hacia el elemento de control es neumática. **Controladores electrónicos:** su señal de salida hacia el elemento de control es electrónica.
- **Controladores universales:** son controladores que reciben señales de entrada provenientes de termocupas, rtd, corriente (mA) y voltaje (mV o V).
- **Controladores multilazo:** son controladores que pueden recibir varias señales a la vez y ejecutar varias acciones diferentes a la vez. Son varios controladores integrados en uno solo.



Fig. 29 a) Controlador electrónico Fig. 29 b) Controlador electrónico

Los controladores generalmente están provistos de:

- Visor, ya sea análogo o de pantalla digital
- Controles o botones para programación y modos de visualización
- Clavijas para la conexión de señales de entradas y salida
- Clavijas para conexión de la alimentación (neumática o eléctrica)

Según la forma como responden los controladores a las señales de entrada, se pueden dividir de la siguiente manera:

- **Control Proporcional:** En este tipo de control, la señal de corrección se obtiene multiplicando la diferencia o error entre la variable controlada y el punto de control por una constante. Entre mayor sea el error y mayor sea la constante mayor será el valor de la señal de corrección y mayor será la rapidez de respuesta del controlador a los cambios en las condiciones de la variable controlada.
- **Control Integral:** Este tipo de control es utilizado para eliminar el error de estado estacionario el cual no puede ser eliminado con el control proporcional, dado que este

error es lo suficientemente pequeño como para que la señal de corrección no sea lo suficientemente potente para cambiar la variable manipulada y por consecuencia la variable que se quiere controlar. El controlador integral, multiplica una constante por la integral del error a través del tiempo hasta generar una señal de corrección lo suficientemente grande para disminuir a cero el error de estado estacionario y mantenerlo así.

- **Control derivativo:** Este tipo de control deriva el error con respecto al tiempo y lo multiplica por una constante. De esta manera se pueden anticipar los cambios bruscos en el proceso y obtener una respuesta más rápida. Sin embargo al ser derivativo, no da señal alguna si el error se mantiene en un valor constante.
- **Control proporcional-integral (PI):** Este controlador tiene una respuesta de corrección proporcional al error y elimina el error de estado estacionario.
- **Control proporcional-derivativo (PD):** Este controlador tiene una respuesta de corrección proporcional al error y

una respuesta proporcional a la velocidad de cambio del error para anticipar cambios bruscos.

- **Control proporcional-integral-derivativo (PID):** Este tipo de control es el más completo ya que se anticipa a los cambios bruscos, tiene una respuesta de corrección proporcional al error y elimina el error de estado estacionario.

TRANSDUCTORES

Son elementos que generalmente transforman la señal eléctrica del controlador en una señal neumática proporcional para el elemento final de control. No se utilizan cuando el elemento final de control trabaja con señales eléctricas o cuando la salida del controlador es neumática. (Controladores antiguos)



Fig. 30a) Transductor TIP



Fig. 30b) Transductor TIP

ELEMENTO DE CONTROL FINAL

Las válvulas de control y los variadores de frecuencia son generalmente los elementos de control más usuales en los procesos con variables continuas.

Las válvulas actúan como elementos de resistencia variable al paso de un fluido cuyo valor de caudal se convierte en la variable manipulada.



Fig.31 Válvulas proporcionales

Las válvulas automáticas pueden clasificarse por su tipo de control en:

- **Válvulas ON/OFF:** válvulas que sólo manejan 2 posiciones: abierta o cerrada. Por lo general funcionan

con una señal eléctrica y son de bola o mariposa. También se les llama válvulas solenoide.

- **Válvulas proporcionales:** válvulas que manejan rangos de apertura/cierre. Por lo general funcionan con una señal neumática y son de compuerta o globo. Según su respuesta a la señal de entrada pueden ser lineales, porcentuales o de apertura rápida.

y por su posición de fallo en:

- **ATO (Air to open) o FC (Fail closed) :** permanecen normalmente cerradas y se abren según el valor de la señal de entrada.
- **ATC (Air to close) o FO (Fail opened) :** permanecen normalmente abiertas y se cierran según el valor de la señal de entrada.

Otra característica importante de las válvulas de control es la **presión del actuador** que es el rango de presión de aire dentro de los cuales trabaja el actuador de la válvula.

Las otras características son inherentes a las válvulas manuales como materiales, capacidad o Cv, temperatura y presión de trabajo del fluido.

Las partes que conforman las válvulas de control son las siguientes:

- **Cuerpo de la válvula:** es la parte que se coloca en la tubería y es igual a la de una válvula manual pero desprovista del manubrio o llave.
- **Actuador:** Elemento que mediante un sistema de pistón y diafragma abre o cierra la válvula según la presión neumática que recibe de un transductor de corriente-presión (TIP).
- **Posicionador:** Elemento opcional que es utilizado en ciertas aplicaciones donde se necesita un mejor control.

3.3.2 Estrategias de control automático

Dependiendo del tipo de proceso se pueden elegir entre tres tipos básicos de control:

- **Control por retroalimentación:** En estos sistemas, se mide la variable controlada y según su desviación del punto de control, se la regula mediante la variable manipulada. Esta estrategia tiene la ventaja de que se puede regular el proceso según el valor real de la variable controlada. Su desventaja radica en que sólo se puede tomar acciones correctivas después de que la variable controlada se ha desviado del punto de control.

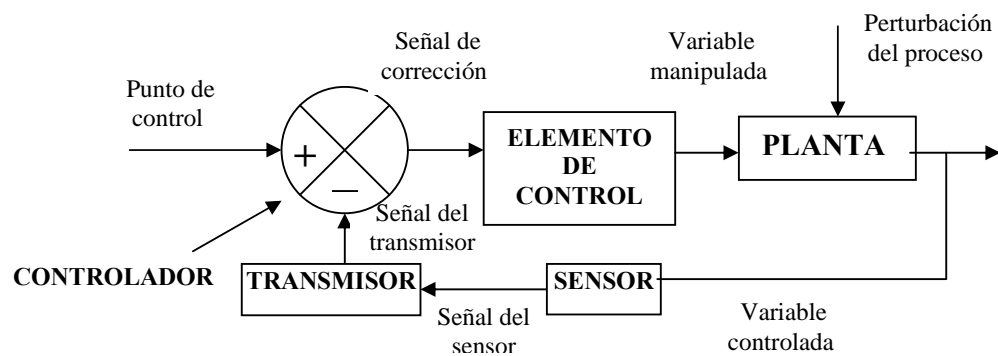


Fig.32 Control por retroalimentación

- Control por acción precalculada:** En estos sistemas, se establece primeramente la relación de dependencia de la variable controlada con respecto a una variable medida de manera tal de poder anticipar el comportamiento de la variable controlada y evitar su desviación del punto de control mediante la variable manipulada. La ventaja de este sistema es que se puede anticipar los cambios en la variable controlada y su desventaja es que al no trabajar directamente con la variable controlada existe la posibilidad de error en la acción precalculada.

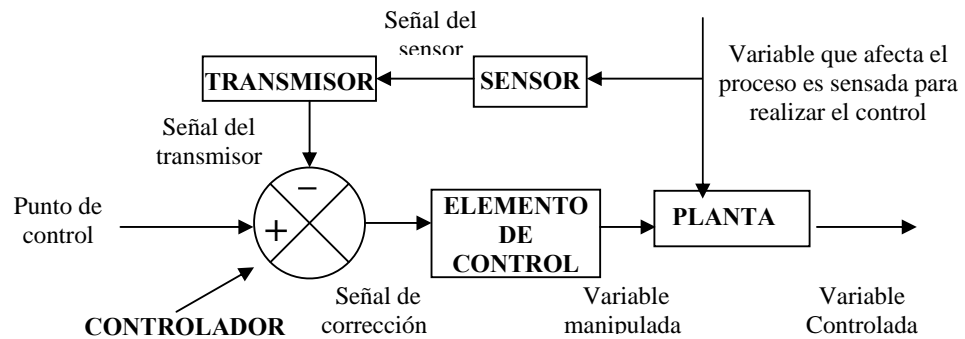


Fig.33 Control por acción precalculada

- **Control mixto:** Este tipo de control combina los 2 anteriores de manera tal de tener un control anticipado y corregido por retroalimentación.

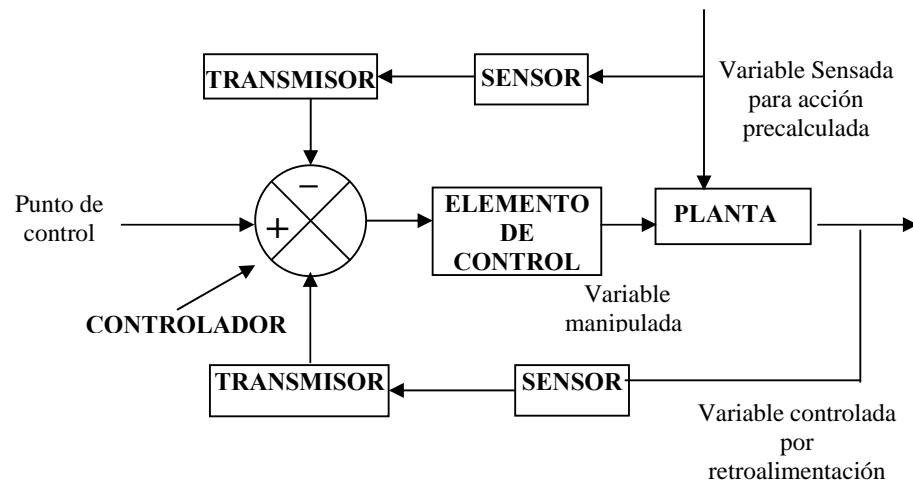


Fig.34 Control mixto

3.4 Sistema de precocinado actual

3.4.1 Descripción de la operación del cocinado del atún

El procedimiento típico de precocinado es el siguiente:

1. Carga del cocinador con el producto
2. Cierre de puertas del cocinador
3. Venteo del cocinador
4. Elevación de la temperatura
5. Período de cocinado
6. Alivio de presión
7. Apertura de puertas
8. Descarga del cocinador

La carga, descarga, cierre y apertura de compuertas son procedimientos mecánicos que no necesitan mayor análisis para el propósito de este trabajo, por lo que se hará énfasis en los restantes:

- **Venteo del cocinador:** consiste en la inyección de vapor al cocinador a fin de desalojar el aire por cuanto su baja conductividad térmica actuaría como un aislante e impediría un correcto cocinado. Con el venteo se obtiene una

atmósfera de 100% vapor. Durante este proceso el aire es forzado a salir a través de válvulas que permanecen abiertas durante esta parte del proceso cuya duración depende del tamaño del cocinador y del flujo de vapor .

- **Elevación de la temperatura:** luego de terminarse el período de venteo, transcurre un tiempo durante el cual la temperatura del cocinador sigue aumentando hasta alcanzar la temperatura de cocinado que típicamente está entre 101 y 102°C. En este periodo la temperatura del pescado también ha aumentado de unos pocos grados bajo cero a aproximadamente 7 u 8 grados C.
- **Período de cocinado:** Este es el período esencial durante el cual se produce la mayoría de cambios físicos y químicos del atún y por lo tanto es de gran importancia controlar la **temperatura real** del pescado lo que en la práctica no sucede ya que se toma como referencia la temperatura del cocinador.

3.4.2 Características del sistema actual

El sistema actual de precocinado se basa en tiempos de cocinado obtenidos en la práctica para cada variedad y tamaño de atún. En la Tabla se puede apreciar los tiempos de cocinado para atunes de la variedad Skipjack con temperatura inicial entre -3 y -5°C.

Especie / Talla	Temp. Cocinador	Tiempo
SJ-3	102 °C	30 min
SJ 3-4	102 °C	45 min
SJ 4-6	102 °C	65 min
SJ 6-7.5	102 °C	75 min
SJ 7.5-9	102 °C	85 min
SJ 9-12	102 °C	105 min
SJ 12-16	102 °C	125 min
SJ 16-20	102 °C	135 min

Tabla 9 Tiempos de cocinado para Skipjack

Fuente: Empresa

A las tablas de tiempos de cocinado mostrados se debe agregar el "tiempo de venteo", que es el tiempo durante el cual el cocinador alcanza una temperatura entre 101 y 102°C lo cual tarda normalmente de media hora a una hora dependiendo del

tamaño del cocinador, la temperatura inicial del atún y el tamaño promedio de los pescados. Cuando el precocinado se ha completado, se corta el vapor, se abren las compuertas y se sacan los coches con el atún para su enfriamiento con agua.

Aunque el método de las tablas de tiempo para el cocinado ha permitido rendimientos aceptables en el proceso, este no contempla:

- Las fluctuaciones en la temperatura del cocinador por ser controlada manualmente
- La variación de las propiedades térmicas de los atunes que se suponen constantes

Como consecuencia de esto, los tiempos de cocinado tienen márgenes de error lo que lleva inevitablemente al método de prueba y error para comprobar el estado de los pescados. Este método consiste en la apertura repetida de las puertas del cocinador para verificación visual lo que a su vez incrementa aún más la incertidumbre sobre el comportamiento del proceso y su dependencia del tiempo.

En el gráfico siguiente, se puede apreciar la forma de la curva de temperatura de cocinador controlada manualmente en la que se desea mantener una temperatura de 102°C.

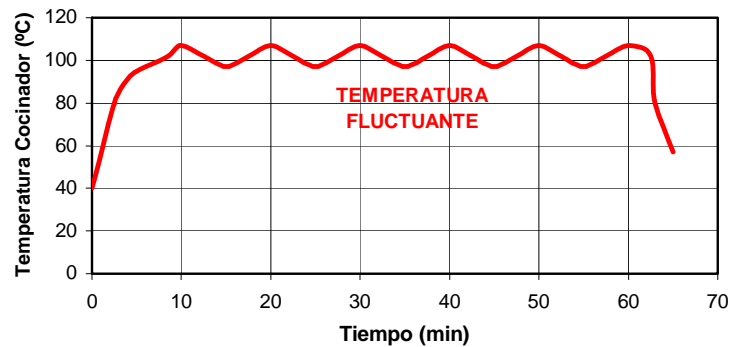


Gráfico 14 Temperatura de cocinador con control manual

Elaborado por: Abel Olivares

Determinación del punto óptimo de cocción

En la prueba realizada en el Capítulo 2 se había determinado mediante los datos del departamento de producción para el atún Skipjack, se debe cortar el vapor a los 62 minutos y sacar el atún a los 65 minutos. Se supondrá que en el momento de en que se saca el pescado del cocinador la temperatura de espina del pescado ha llegado a los 58°C.

Para que se obtenga un adecuado nivel de cocción se esperaría que todos los precocinados se comportaran de una manera similar a la que se muestra en el Grafico 15.

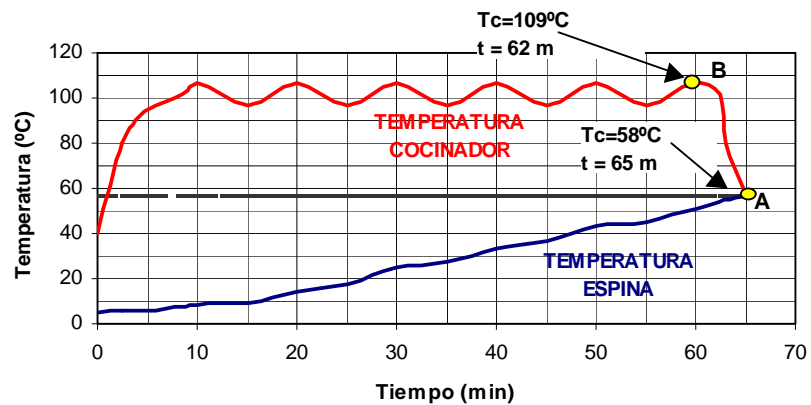


Gráfico 15 Comportamiento esperado en el precocinado

Elaborado por: Abel Olivares

En las pruebas realizadas, al saberse que el tiempo para cortar el vapor es de 62 minutos se repite el procedimiento, pero dado que esta vez el control sobre la temperatura del cocinador ha sido más variable y la temperatura promedio está por debajo que en el proceso que se tomó como referencia, a los 60 minutos la temperatura de espina del atún aún no ha llegado a 58°C y por lo tanto se lo saca crudo, lo que repercute en los rendimientos al momento de la limpieza de los lomos.

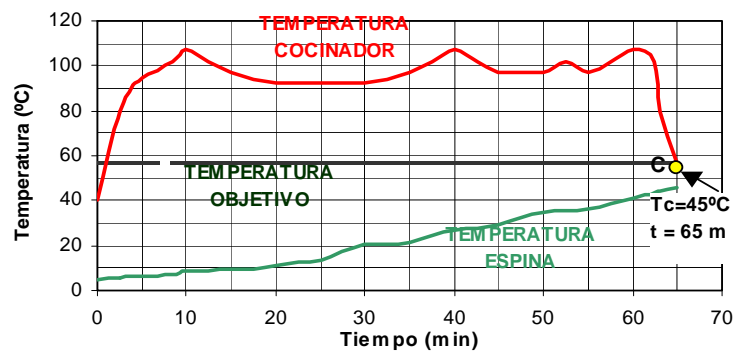


Gráfico 16 Pescado semicrudo por cocinado irregular

Elaborado por: Abel Olivares

Cuando en cambio, la temperatura del cocinador tiene intervalos en los que sube en demasía, el excesivo gradiente produce un sobrecocinado de la carne más cercana a la piel cuando el centro aún está crudo y de esta manera también se producen pérdidas irre recuperables.

Un cocinado de este tipo se obtuvo en la muestra #10 del día 1 en el Gráfico 13 en el que teóricamente la temperatura de 58 grados se la alcanza antes de tiempo como consecuencia de un mayor nivel promedio de temperatura del cocinador. El gráfico 17 muestra un cocinado de este tipo.

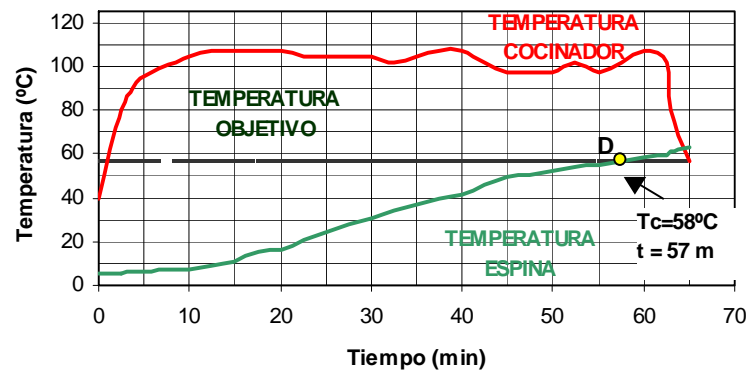


Gráfico 17 Pescado sobrecocinado por temperatura irregular

Elaborado por: Abel Olivares

3.5 Mejoras propuestas al sistema actual

Como se dijo anteriormente sería de mucha conveniencia implementar un sistema mediante el cual se pudiera controlar la temperatura ambiente del cocinador en el nivel deseado, y de esta manera evitar las anomalías que se producen con control manual como:

- Fluctuaciones en la temperatura por mala regulación
- Sobrecocinado

Lo cual trae como consecuencia:

- Desgaste de válvulas de control
- Caídas y subidas bruscas de presión en las líneas de vapor
- Gasto innecesario de vapor por el sobrecocinado

- Más personal por cada cocinador
- Pérdidas en peso de la materia prima
- Cocinado no homogéneo de los atunes

El modelo matemático puede ser utilizado para predecir las temperaturas de espina de los atunes y así poder saber en que tiempo sacarlos pero ya se vio que este modelo tiene probabilidades de error por la variabilidad de las constantes.

Un control automático por retroalimentación de la temperatura es una inversión que puede ser recuperada en un tiempo determinado por lo que se recomienda su aplicación. Con un sistema de control proporcional se puede asegurar la estabilidad en la temperatura del cocinador de manera

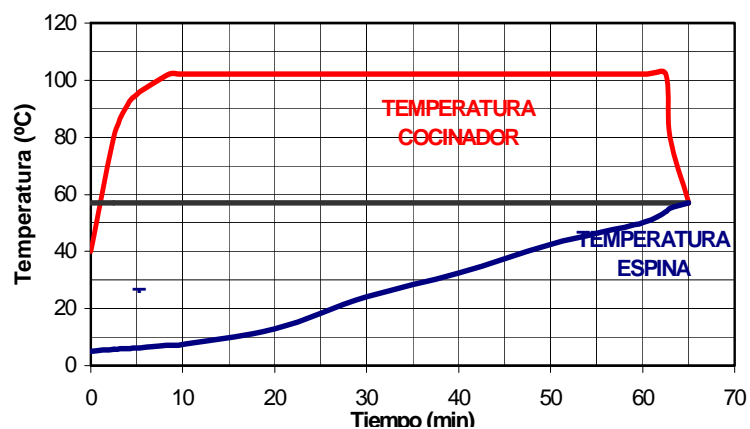


Gráfico 18 Temperatura de cocinador y espina con control automático

Elaborado por: Abel Olivares

tal de no incurrir en este tipo de errores entre cada cocinado.

El sistema tiene por objeto controlar la temperatura del cocinador (variable controlada) de manera tal que tenga un gradiente constante durante el venteo y se mantenga en una temperatura T_a estable para cada intervalo del precocinado (ver 3.2.2) hasta que la temperatura de espina T_e del atún patrón elegido llegue a un valor determinado (condición de finalización del proceso).

Se han elaborado cientos de tablas con tiempos de cocinado para cada tipo de atún, sin embargo esta tabulación aunque no es mala, no toma en cuenta que ciertas propiedades que se asumen como constantes para un mismo tamaño y variedad de atún, varían de acuerdo a las zonas de pesca, época del año, tratamiento térmico previo en el barco, tiempo de almacenamiento, etc.

Debido a ello para un mismo tipo y tamaño de atún la curva de cocinado puede comportarse de manera diferente, como lo muestra el gráfico 19 en el que tres lotes de atún de la misma variedad y tamaño de atún, se cocinan esperando un comportamiento como en la curva del atún #1 que alcanza la temperatura objetivo de 58°C a los 65 minutos.

Sin embargo, debido a las diferencias en las propiedades físicas de los atunes entre cada lote, para un tiempo de cocinado de 65 minutos el atún tipo del lote #2 llega a una temperatura de espina de 51°C y el atún del lote #3 ha llegado a una temperatura de 64°C.

Como consecuencia de ello, el atún del lote #2 debe entrar a proceso nuevamente, mientras que el atún del lote #3 se ha sobrecocinado.

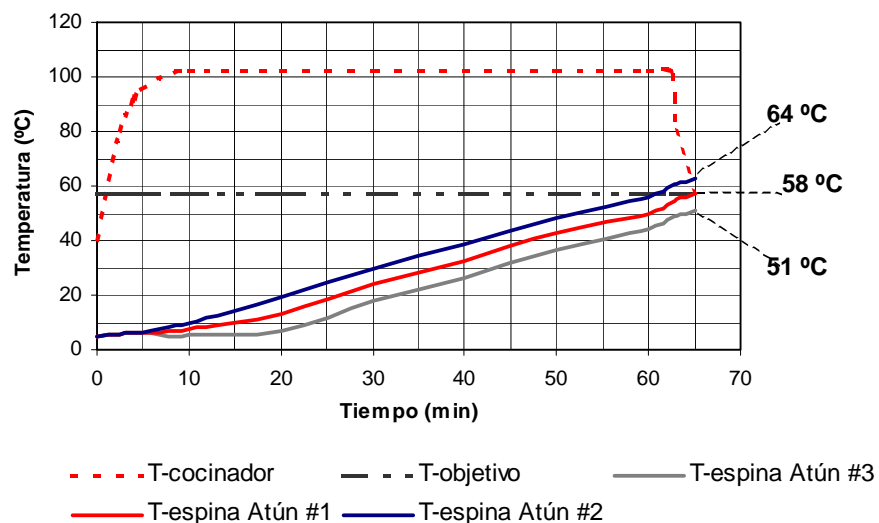


Gráfico 19 Error en tiempo de precocinado por diferencia en propiedades físicas de los atunes

Elaborado por: Abel Olivares

Colocando un sensor de temperatura en las espinas de los pescados de cada lote (Gráfico 19) el sistema puede controlar la duración del precocinado y de esta manera se consigue un cocinado de acuerdo a la temperatura que se registra en la espina y se evitan pérdidas innecesarias.

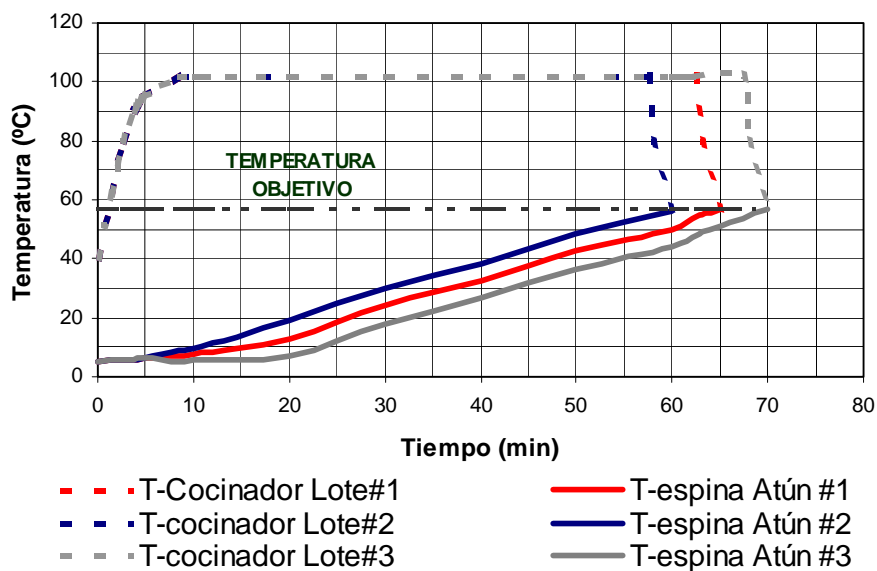


Gráfico 20 Precocinado con control proporcional de temperatura en el cocinador y control de temperatura de espina

Elaborado por: Abel Olivares

3.6 Inversión requerida

3.6.1 Selección de equipos

Es recomendable que en la selección de las características de los componentes se tomen en cuenta las características de linealidad de sus señales de entrada con respecto a sus señales de salida. Por lo general se trata de trabajar en los rangos que se comportan de la forma más lineal posible o se utilizan elementos que posteriormente linearicen las señales.

a) Sensores

Para controlar la temperatura de espina de los pescados será necesario instalar RTDS que puedan ser insertadas atravesando los pescados longitudinalmente. Asumiendo que el cocinador no se calienta uniformemente se sugiere colocar la RTD en el pescado más grande del lote y que se ubique en la región del cocinador que más tarde en calentarse de manera tal de garantizar que cuando este ejemplar alcance la temperatura deseada, los otros ya habrán llegado a esta temperatura momentos antes y las pérdidas por sobrecocinado serán las menos posibles.

Otra alternativa es dividir al cocinador en 2, 3, 4 o más regiones de manera tal de poder cocinar diversos tamaños de pescado en cada región controlando su temperatura independientemente.

Es importante notar que mientras menor sea la variabilidad en el tamaño de los pescados de un mismo lote con respecto al atún elegido para medir su temperatura, mayor será la aproximación de los mismos a la temperatura de control.

Costo aproximado del sensor: **USD 300,00 c/u**

b) Controlador

Dependiendo de si se elige uno o más sensores de temperatura, se podrá elegir entre un controlador de un sólo lazo y uno multilazo por cada cocinador.

Se recomienda un controlador PD, dado que se necesita un control proporcional por ser la temperatura una variable continua y derivativo para anticipar cambios bruscos del gradiente de temperatura cuando por ejemplo en el caso de un cocinador dividido en varias zonas, se abren las puertas para sacar un lote que ya esté listo y la temperatura del cocinador desciende rápidamente.

No se considera necesaria la función integral ya que no es crítico para el proceso que se llegue a una temperatura exacta determinada y por último se pueden hacer pruebas para especificar la temperatura a un nivel un poco mayor o menor para compensar el error de estado estacionario.

Sin embargo la mayoría de los controladores en la actualidad son PID electrónicos por lo que lo más probable es que se tenga que instalar un controlador de este tipo.

La sintonización de las constantes de proporcionalidad del controlador con el proceso deberá ser ejecutada por un especialista en control automático. Se suele utilizar un procedimiento de prueba y error hasta conseguir la respuesta deseada.

Costo aproximado del controlador: **USD 720,00**

c) Válvula proporcional

Se sugiere instalar una válvula con cuerpo de hierro fundido y asientos metálicos, de tipo normalmente abierta. La válvula proporcional deberá ir en serie con una válvula manual a fin de cortar el flujo manualmente si es necesario y a fin de facilitar el

desmontaje de la válvula para mantenimiento. El tipo de control proporcional de la válvula depende de ciertas características del proceso como la variación en la caída de presión. El tipo de control debe asegurar la mayor linealidad posible entre el desplazamiento de la válvula y el flujo de vapor.*

El Cv de la válvula, tamaño del actuador, así como las temperaturas y presiones máximas de operación deberán ser suministradas por el ingeniero de planta o un asesor técnico especializado en válvulas automáticas.

Costo aproximado : **USD 2500,00**

d) Controlador TIP

Se instalará un controlador TIP lo más cerca posible de la válvula proporcional a fin de que le suministre una entrada neumática con mínimas pérdidas. El controlador también deberá ir conectado a la línea de aire de la planta.

Costo aproximado: **USD 600,00**

3.6.2 Presentación de alternativas y sus costos

El sistema básico propuesto funcionaría de la siguiente manera:

- Se programan en el controlador PID las temperaturas del cocinador para cada intervalo de tiempo según la ecuación 9 en el capítulo 3.
- Se programa la temperatura de espina final requerida en el controlador ON/OFF
- La señal de la RTD #1 retroalimenta al controlador PID el cual regula la temperatura del cocinador mediante el TIP y la válvula de control.
- La señal de la RTD #2 informa sobre la temperatura real de espina en el pescado. Al llegar al valor especificado en el punto 2 se activa una alarma que indica que el precocinado esta listo.

Se proponen tres alternativas:

- Un sensor por cocinador
- Dos sensores por cocinador
- Cuatro sensores por cocinador

Opción 1: Un sensor por cada cocinador

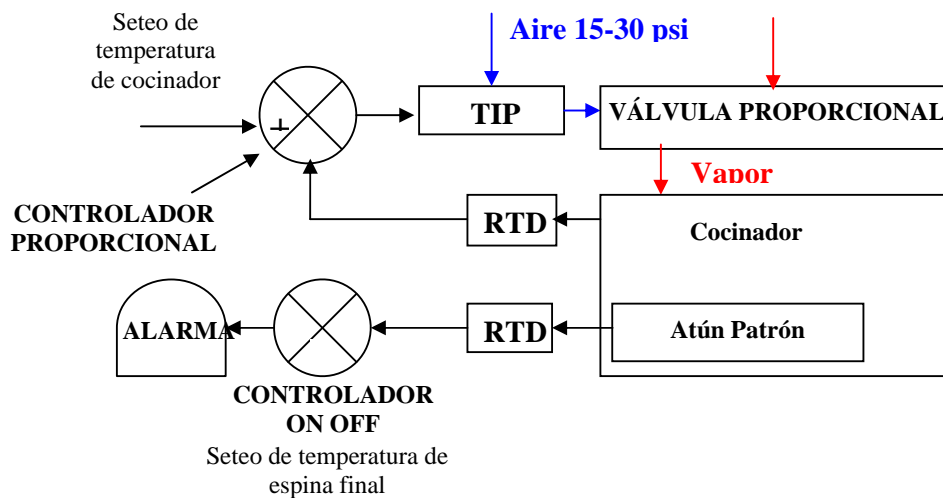


Fig. 35 Sistema con un sensor por cocinador

Opción 2: 2 sensores por cada cocinador

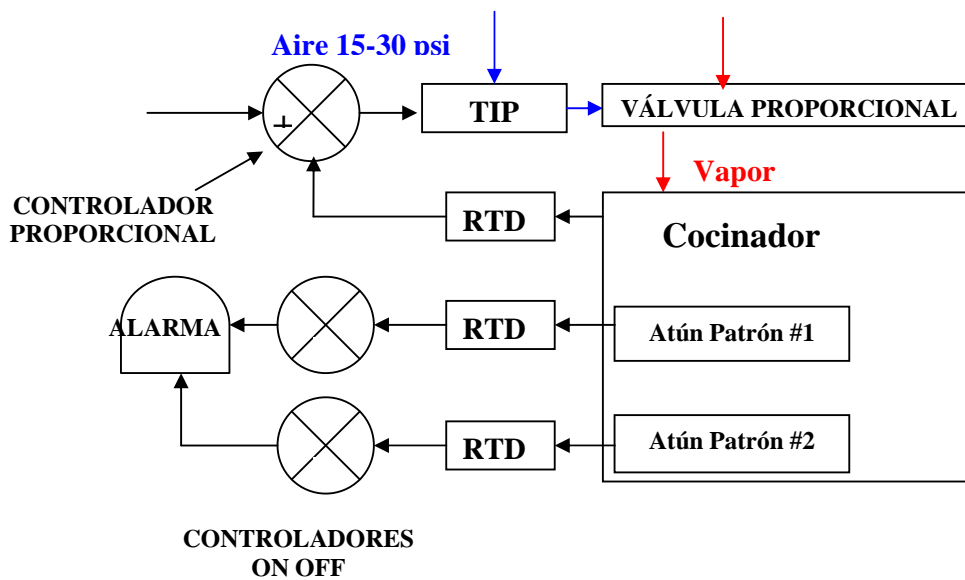


Fig. 36 Sistema con dos sensores por cocinador

Opción 3: 4 sensores por cada cocinador

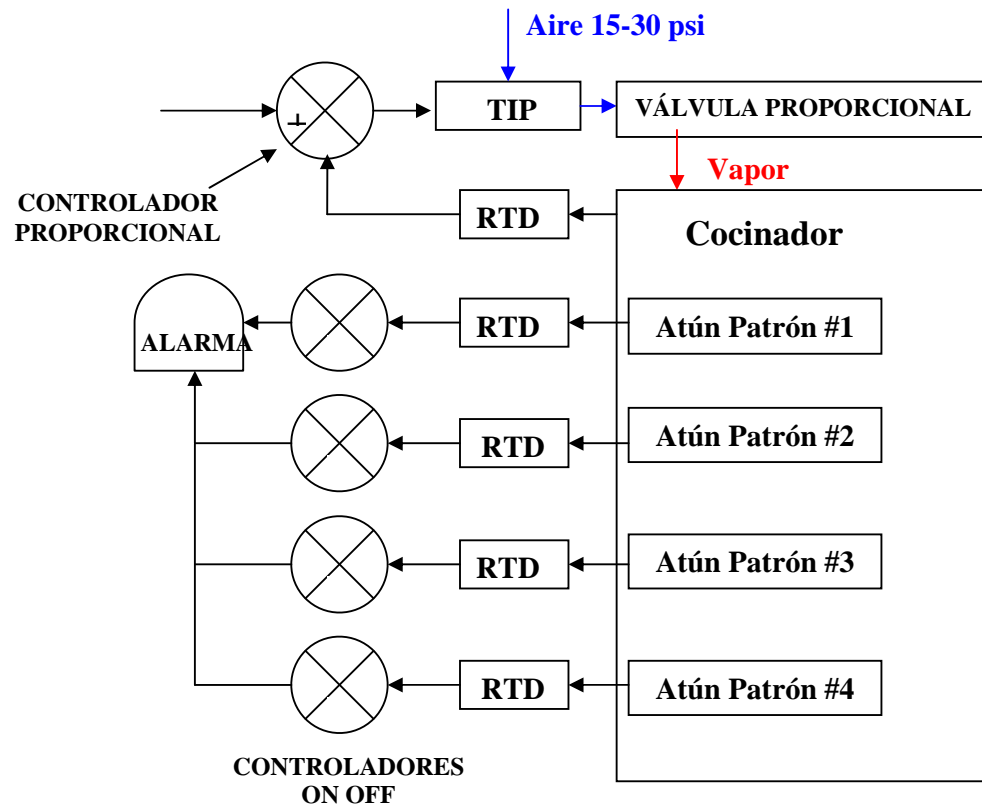


Fig. 37 Sistema con dos sensores por cocinador

La elección entre uno o más sensores de temperatura por cada cocinador permitirá:

1. Si se trata de un solo tipo y tamaño de pescado y una misma receta en el cocinador:

- La existencia de más sensores permitirá obtener mayor confiabilidad en el proceso, ya que fácilmente se puede detectar descalibración en alguno e los sensores y además al trabajar con temperaturas promedio se obtienen mejores parámetros de control y por ende aumenta la eficiencia.

2. Si se trata de más de un tamaño solo tipo y tamaño de pescado y una misma receta:

- Se abre la posibilidad de cocinar varios lotes de diferentes características controlando su temperatura de espina independientemente. Esto evita la subutilización de los cocinadores a carga parcial o las demoras que se producen hasta completar un lote de las mismas características.

Cuadros de costos estimados

Los valores de los equipos que figuran en las tablas siguientes se los hizo en base a los precios de venta de una compañía que distribuye equipos industriales en Guayaquil.

Items	Costo Unitario	Cant.	Total
Sensor RTD	USD 300,00	1	USD 300,00
Controlador PID de un sólo lazo	USD 720,00	1	USD 720,00
Controlador ON/OFF	USD 305,00	1	USD 305,00
Alarma audible y visual	USD 200,00	1	USD 200,00
Transductor TIP	USD 600,00	1	USD 600,00
Válvula proporcional	USD 2500,00	1	USD 2500,00
Materiales de cableado	USD 120,00	1	USD 100,00
Instalación y pruebas	USD 1000,00	1	USD 1000,00
Total			USD 5725,00

Tabla 10 Inversión para sistema de un sensor

Elaborada por: Abel Olivares

Items	Costo Unitario	Cant.	Total
Sensor RTD	USD 300,00	2	USD 600,00
Controlador PID de un sólo lazo	USD 720,00	1	USD 720,00
Controlador ON/OFF	USD 305,00	2	USD 610,00
Alarma audible y visual	USD 200,00	1	USD 200,00
Transductor TIP	USD 600,00	1	USD 600,00
Válvula proporcional	USD 2500,00	1	USD 2500,00
Materiales de cableado	USD 140,00	1	USD 140,00
Instalación y pruebas	USD 1200,00	1	USD 1200,00
Total			USD 6570,00

Tabla 11 Inversión para sistema de dos sensores

Elaborada por: Abel Olivares

Items	Costo Unitario	Cant.	Total
Sensor RTD	USD 300,00	4	USD 1200,00
Controlador PID	USD 720,00	1	USD 720,00
Controlador ON/OFF	USD 305,00	4	USD 1220,00
Alarma audible y visual	USD 200,00	1	USD 200,00
Transductor TIP	USD 600,00	1	USD 600,00
Válvula proporcional	USD 2500,00	1	USD 2500,00
Materiales de cableado	USD 160,00	1	USD 160,00
Instalación y pruebas	USD 1500,00	1	USD 1500,00
Total			USD 8100,00

Tabla 12 Inversión para sistema de cuatro sensores

Elaborada por: Abel Olivares

CAPITULO 4

4. ESTUDIO FINANCIERO DEL PROYECTO

4.1 Proyecciones e Indicadores

Para un primer análisis, se tomarán los siguientes supuestos:

- La instalación del sistema en un solo cocinador
- Una mejora en el rendimiento de materia prima del 1%¹
- Se considerará como ingreso al ahorro anual en el costo de materia prima cocinada
- Dado que es un análisis financiero de un proyecto en una empresa en funcionamiento sólo se considera la proyección del flujo incremental entre la operación con el nuevo sistema y la operación actual.

¹Se han reportado mejoras hasta un 5% en sistemas similares.(Apendice D2)

- Los únicos egresos serán la inversión inicial, los gastos en repuestos y las depreciaciones.
- Los gastos en repuestos consisten en el reemplazo de los sensores que tienden a estropearse con el tiempo y el manipuleo
- La inversión inicial será por cuenta de la empresa
- El costo de la materia prima precocinada se aproximará al precio de venta actual de la materia prima congelada

Esto se debe a que la contabilidad de la empresa no le ha asignado un costo por kilo al atún precocinado sin previa limpieza y empaque. Esta aproximación dará el mínimo costo que podría tener la materia prima precocinada. A mayor costo mayores serán los beneficios del ahorro.

Se compararán 3 alternativas de instalación por cada cocinador, asumiendo que la producción se mantiene a la máxima capacidad instalada

Las 3 alternativas de inversión son las siguientes:

1. Un sólo sensor de temperatura de espina por cocinador
2. Dos sensores de temperatura de espina por cocinador
3. Cuatro sensores de temperatura de espina por cocinador

Proyección para alternativa de un sensor por cocinador

Datos de Producción	Periodo					
	0	1	2	3	4	5
Atún procesado por cocinador (Ton)		8.824	8.824	8.824	8.824	8.824
Mejoras en rendimiento (1%) (Ton)		88,24	88,24	88,24	88,24	88,24
Costo materia prima (USD/Ton)		600	600	600	600	600
Flujo de Caja USD						
Ahorro bruto		52.943	52.943	52.943	52.943	52.943
Repuestos		-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000
Depreciación de equipos		-473	-573	-673	-773	-873
Ahorro antes de part. a empleados		51.470	51.370	51.270	51.170	51.070
15% participación de empleados		7.721	7.706	7.691	7.676	7.661
Ahorro antes del impuesto a la renta		43.750	43.665	43.580	43.495	43.410
25% Impuesto a la renta		10.937	10.916	10.895	10.874	10.852
Ahorro antes de ajuste		32.812	32.748	32.685	32.621	32.557
Ajuste por gastos no desembolsados		473	573	673	773	873
Equipos	-4725					
Costos de Instalación	-1000					
Ahorro neto (ANt)	-4725	33.285	33.321	33.357	33.393	33.430
Ahorro total acumulado	-5725	27.560	60.881	94.238	127.631	161.061

Tabla 13 Flujo de caja para proyecto de un cocinador con un sensor

Elaborada por: Abel Olivares

El criterio del valor actual neto plantea que el proyecto debe aceptarse si su VAN es igual o superior a cero.

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{AN_t}{(1+i)^t} - I_0$$

Donde:

AN_t : Ahorro neto del año

t: Año o periodo

n: Número total de años

i: Tasa referencial pasiva del mercado

I_0 : Inversión Inicial

Se realizará un análisis a 5 años con una tasa pasiva referencial de 3.56 %, correspondiente al 7 de Diciembre del 2004². Los valores anuales de ahorro neto y la inversión inicial están dados en la tabla.

De esta manera el Valor Actual Neto del Proyecto es:

$$VAN = \text{US\$ } 144.617$$

²Fuente: Diario El Universo

Tasa Interna de retorno

El criterio de la tasa interna de retorno evalúa el proyecto en función de una única tasa de rendimiento por período. Esta se obtiene de la siguiente ecuación.

$$\sum_{t=1}^n \frac{AN_t}{(1 + TIR)^t} - I_0 = 0$$

Donde:

AN_t : Ahorro neto del año

t: Año o periodo

n: Número total de años

I_0 : Inversión Inicial

El valor obtenido para un período de 5 años es:

TIR = 581%

Proyección para alternativa de dos sensores por cocinador

Datos de Producción	Periodo					
	0	1	2	3	4	5
Atún procesado por cocinador (Ton)		8.824	8.824	8.824	8.824	8.824
Mejoras en rendimiento (1%) (Ton)		88	88	88	88	88
Costo materia prima (USD/Ton)		600	600	600	600	600
Flujo de Caja USD						
Ahorro bruto		52.943	52.943	52.943	52.943	52.943
Repuestos		-2.000	-2.000	-2.000	-2.000	-2.000
Depreciación de equipos		-535	-735	-935	-1.135	-1.335
Ahorro antes de part. a empleados		50.408	50.208	50.008	49.808	49.608
15% participación de empleados		7.561	7.531	7.501	7.471	7.441
Ahorro antes del impuesto a la renta		42.846	42.676	42.506	42.336	42.166
25% Impuesto a la renta		10.712	10.669	10.627	10.584	10.542
Ahorro antes de ajuste		32.135	32.007	31.880	31.752	31.625
Ajuste por gastos no desembolsados		535	735	935	1.135	1.335
Equipos	-5350					
Costos de Instalación	-1200					
Ahorro neto (ANt)	-5350	32.670	32.742	32.815	32.887	32.960
Ahorro total acumulado	-6550	26.120	58.862	91.677	124.564	157.524

Tabla 14 Flujo de caja para proyecto de un cocinador con dos sensores

Elaborada por: Abel Olivares

Para este análisis varían la inversión inicial y los ahorros netos anuales, por efectos de la depreciación. Los demás valores se mantienen iguales.

El proyecto de instalación de 2 sensores tiene los siguientes indicadores:

$VAN = US\$ 141.336$

$TIR = 499\%$

Nótese que tanto el VAN como la TIR han disminuido como consecuencia de una mayor inversión inicial sin tomar en cuenta los ahorros extras que producirían por el aumento del rendimiento de la producción. Esto será analizado en el siguiente subcapítulo.

Proyección para alternativa de cuatro sensores por cocinador

Datos de Producción	Periodo					
	0	1	2	3	4	5
Atún procesado por cocinador (Ton)		8.824	8.824	8.824	8.824	8.824
Mejoras en rendimiento (1%) (Ton)		88	88	88	88	88
Costo materia prima (USD/Ton)		600	600	600	600	600
Flujo de Caja USD						
Ahorro bruto		52.943	52.943	52.943	52.943	52.943
Repuestos		-4.000	-4.000	-4.000	-4.000	-4.000
Depreciación de equipos		-660	-1.060	-1.460	-1.860	-2.260
Ahorro antes de part. a empleados		48.283	47.883	47.483	47.083	46.683
15% participación de empleados		7.242	7.182	7.122	7.062	7.002
Ahorro antes del impuesto a la renta		41.040	40.700	40.360	40.020	39.680
25% Impuesto a la renta		10.260	10.175	10.090	10.005	9.920
Ahorro antes de ajuste		30.780	30.525	30.270	30.015	29.760
Ajuste por gastos no desembolsados		660	1.060	1.460	1.860	2.260
Equipos	-6600					
Costos de Instalación	-1500					
Ahorro neto (ANt)	-6600	31.440	31.585	31.730	31.875	32.020
Ahorro total acumulado	-8100	23.340	54.925	86.655	118.530	150.550

Tabla 15 Flujo de caja para proyecto de un cocinador con cuatro sensores

Elaborada por: Abel Olivares

De igual manera para esta alternativa solo varían la inversión inicial y los ahorros netos anuales.

$$\text{VAN} = \text{US\$ } 134.874$$

$$\text{TIR} = 389\%$$

4.2 Puntos de equilibrio entre las alternativas

A simple vista cualquiera de los 3 proyectos resultan rentables para la compañía asumiendo un aumento en el rendimiento de tan sólo el 1%, como se puede ver en la tabla.

	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C
TIR	581%	499%	389%
VAN	\$144.617	\$141.336	\$134.874

Tabla 16 Cuadro comparativo de indicadores financieros

Elaborada por: Abel Olivares

La elección entre cualquiera de los tres proyectos dependerá de en que medida se espere que la instalación de sensores adicionales mejore la eficiencia de producción.

Tal como están presentadas las alternativas asumiendo que todas producen el mismo ahorro, la alternativa A de un solo sensor sería la más rentable tanto por su valor actual neto como por su TIR.

Sin embargo, la instalación de sensores adicionales provocaría mejoras en el proceso productivo en 2 aspectos:

- Ahorros de materia prima: la instalación de más sensores permiten trabajar con promedios de manera tal que la medida indirecta de la temperatura de todo el pescado tiene mayor certidumbre.
- Ahorros en costo de producción por hora: la instalación de más sensores permitiría trabajar con más de un lote en el mismo cocinador, cada uno con su control de temperatura independiente. Esto evitaría la subutilización de la capacidad máxima de los cocinadores en el caso de que un lote no sea suficiente para llenar el cocinador.

De manera tal que es conveniente saber que tanto debería mejorar el rendimiento productivo con las alternativas B y C, para que al menos sean tan rentables como la alternativa A, de un solo sensor. Esto se logra equilibrando el VAN y la TIR.

Equilibrio del VAN

Para que las alternativas B y C se puedan considerar al menos tan rentables como la alternativa A igualando su valor actual neto, deberían ser capaces de aumentar el rendimiento de los cocinadores de modo tal que ahorren 1.9 y 5.65 toneladas anuales respectivamente, por sobre la alternativa A.

	Incremento en rendimiento sobre alternativa A	
	En porcentaje	Total anual
Alternativa B	0.022%	1.9
Alternativa C	0.06%	5.65

Tabla 17 Mejoras en eficiencia requeridas para igualar VAN de Alternativa A

Elaborada por: Abel Olivares

Equilibrio de la TIR

Por otra parte si se elige un criterio de tasa interna de retorno, las alternativas B y C deberían ser capaces de aumentar los rendimientos de cada cocinador por lo menos en 14 y 40 toneladas anuales respectivamente.

	Incremento en rendimiento sobre alternativa A	
	En porcentaje	Total anual
Alternativa B	0.16%	14,11
Alternativa C	0.46%	40,68

Tabla 18 Mejoras en eficiencia requeridas para igualar TIR de Alternativa A

Elaborada por: Abel Olivares

4.3 Análisis de sensibilidad

Para realizar un análisis de sensibilidad, se planteará cuatro hipotéticos escenarios en el que los ocho cocinadores estarían automatizados.

Escenario 1: Se asumirá un nivel de producción igual a la cantidad de materia prima procesada durante el 2003, un costo de materia prima de 600 dólares por tonelada y mejoras en rendimiento del 1%.

Escenario 2: Se planteará una caída del 5% en el nivel de producción, con las demás condiciones iguales.

Escenario 3: Se planteará una caída del 10% en el nivel de producción, con las demás condiciones iguales.

Escenario 4: Se planteará un aumento del 5% en el nivel de producción, con las demás condiciones iguales.

Datos de Producción	Periodo					
	0	1	2	3	4	5
Atún procesado (Ton)		70.590	70.590	70.590	70.590	70.590
Mejoras en rendimiento (1%)		705,90	705,90	705,90	705,90	705,90
Costo materia prima (USD/Ton)		600	600	600	600	600
Flujo de Caja USD						
Ahorro bruto		423.540	423.540	423.540	423.540	423.540
Repuestos		-32.000	-32.000	-32.000	-32.000	-32.000
Depreciación de equipos		-5.280	-8.480	-11.680	-14.880	-18.080
Ahorro antes part. a empleados		386.260	383.060	379.860	376.660	373.460
15% participación de empleados		57.939	57.459	56.979	56.499	56.019
Ahorro antes del impuesto renta		328.321	325.601	322.881	320.161	317.441
25% Impuesto a la renta		82.080	81.400	80.720	80.040	79.360
Ahorro antes de ajuste		246.241	244.201	242.161	240.121	238.081
Ajuste por depreciación		5.280	8.480	11.680	14.880	18.080
Equipos	52800					
Costos de Instalación	9000					
Ahorro neto (ANt)	-61800	251.521	252.681	253.841	255.001	256.161
Ahorro total acumulado	-61800	189.721	442.402	696.242	951.243	1.207.404

Tabla 19 Flujo de caja con producción actual

Elaborada por: Abel Olivares

Datos de Producción	Periodo					
	0	1	2	3	4	5
Atún procesado (Ton)		67.061	67.061	67.061	67.061	67.061
Mejoras en rendimiento (1%)		670,61	670,61	670,61	670,61	670,61
Costo materia prima (USD/Ton)		600	600	600	600	600
Flujo de Caja USD						
Ahorro bruto		402.363	402.363	402.363	402.363	402.363
Repuestos		-32.000	-32.000	-32.000	-32.000	-32.000
Depreciación de equipos		-5.280	-8.480	-11.680	-14.880	-18.080
Ahorro antes part. a empleados		365.083	361.883	358.683	355.483	352.283
15% participación de empleados		54.762	54.282	53.802	53.322	52.842
Ahorro antes del impuesto renta		310.321	307.601	304.881	302.161	299.441
25% Impuesto a la renta		77.580	76.900	76.220	75.540	74.860
Ahorro antes de ajuste		232.740	230.700	228.660	226.620	224.580
Ajuste por depreciación		5.280	8.480	11.680	14.880	18.080
Equipos	52800					
Costos de Instalación	9000					
Ahorro neto (ANt)	-61800	238.020	239.180	240.340	241.500	242.660
Ahorro total acumulado	-61800	176.220	415.401	655.741	897.242	1.139.902

Tabla 20 Flujo de caja con disminucion de 5% en la producción

Elaborada por: Abel Olivares

Datos de Producción	Periodo					
	0	1	2	3	4	5
Atún procesado (Ton)		63.531	63.531	63.531	63.531	63.531
Mejoras en rendimiento (1%)		635,31	635,31	635,31	635,31	635,31
Costo materia prima (USD/Ton)		600	600	600	600	600
Flujo de Caja USD						
Ahorro bruto		381.186	381.186	381.186	381.186	381.186
Repuestos		-32.000	-32.000	-32.000	-32.000	-32.000
Depreciación de equipos		-5.280	-8.480	-11.680	-14.880	-18.080
Ahorro antes part. a empleados		343.906	340.706	337.506	334.306	331.106
15% participación de empleados		51.586	51.106	50.626	50.146	49.666
Ahorro antes del impuesto renta		292.320	289.600	286.880	284.160	281.440
25% Impuesto a la renta		73.080	72.400	71.720	71.040	70.360
Ahorro antes de ajuste		219.240	217.200	215.160	213.120	211.080
Ajuste por depreciación		5.280	8.480	11.680	14.880	18.080
Equipos	52800					
Costos de Instalación	9000					
Ahorro neto (ANt)	-61800	224.520	225.680	226.840	228.000	229.160
Ahorro total acumulado	-61800	162.720	388.400	615.240	843.240	1.072.400

Tabla 21 Flujo de caja con disminucion de 10% en la producción

Elaborada por: Abel Olivares

Datos de Producción	Periodo					
	0	1	2	3	4	5
Atún procesado (Ton)		74.120	74.120	74.120	74.120	74.120
Mejoras en rendimiento (1%)		741,20	741,20	741,20	741,20	741,20
Costo materia prima (USD/Ton)		600	600	600	600	600
Flujo de Caja USD						
Ahorro bruto		444.717	444.717	444.717	444.717	444.717
Repuestos		-32.000	-32.000	-32.000	-32.000	-32.000
Depreciación de equipos		-5.280	-8.480	-11.680	-14.880	-18.080
Ahorro antes part. a empleados		407.437	404.237	401.037	397.837	394.637
15% participación de empleados		61.116	60.636	60.156	59.676	59.196
Ahorro antes del impuesto renta		346.321	343.601	340.881	338.161	335.441
25% Impuesto a la renta		86.580	85.900	85.220	84.540	83.860
Ahorro antes de ajuste		259.741	257.701	255.661	253.621	251.581
Ajuste por depreciación		5.280	8.480	11.680	14.880	18.080
Equipos	52800					
Costos de Instalación	9000					
Ahorro neto (ANt)	-61800	265.021	266.181	267.341	268.501	269.661
Ahorro total acumulado	-61800	203.221	469.402	736.743	1.005.244	1.274.905

Tabla 22 Flujo de caja con aumento de 5% en la producción

Elaborada por: Abel Olivares

De esta manera se obtiene el siguiente cuadro comparativo:

Producción anual	100%	95%	90%	105%
Costo Inicial del Proyecto	61800	61800	61800	61800
Ahorro en 1 año	189.721	176.220	162.720	203.221
Ahorro en 5 años	1.207.404	1.139.902	1.072.400	1.274.905
VAN	1.081.994	1.021.142	960.291	1.142.845
TIR	407%	386%	364%	429%

Tabla 23 Comparativo ante distintos escenarios de producción

Elaborada por: Abel Olivares

Otro análisis de sensibilidad podría consistir en la variación de los parámetros financieros en función de un cambio en los costos de materia prima.

Se planteará el escenario base, con un costo de 600 dólares la tonelada y los escenarios 5,6 y 7 con costos de 300, 450 y 800 dólares por tonelada, respectivamente.

Costo de Materia Prima (USD/Ton)	600	300	450	800
Costo Inicial	61800	61800	61800	61800
Ahorro en 1 año	189.721	54.717	122.219	279.723
Ahorro en 5 años	1.207.404	532.387	869.895	1.657.415
VAN	1.081.994	473.481	777.737	1.487.669
TIR	407%	189%	298%	553%

Tabla 24 Comparativo ante distintos escenarios de costos

Elaborada por: Abel Olivares

Finalmente realizando un comparativo de escenarios con diferentes rendimientos del sistema, tal vez la mayor preocupación del inversionista, dado su desconocimiento de los aspectos técnicos del sistema, se tiene el siguiente cuadro, con los escenarios 8, 9 y 10 correspondientes a una mejora en el rendimiento por peso en el orden del 0.5%, 0.25% y 1.25%.

Mejora en Rendimiento	1%	0.5%	0.25%	1.25%
Costo Inicial	61800	61800	61800	61800
Ahorro en 1 año	189.721	70.017	2.516	272.522
Ahorro en 5 años	1.207.404	735.190	262.678	1.612.712
VAN	1.081.994	648.216	230.619	1.447.645
TIR	407%	214%	101%	541%

Tabla 25 Comparativo ante distintos escenarios de rendimiento

Elaborada por: Abel Olivares

Para efectos de conocer en que condiciones el proyecto dejaría de ser rentable, se presentan las proyecciones del Valor Actual Neto del Proyecto para la variación de:

- a) Nivel de producción
- b) Costo de la materia prima
- c) Mejoras en el rendimiento

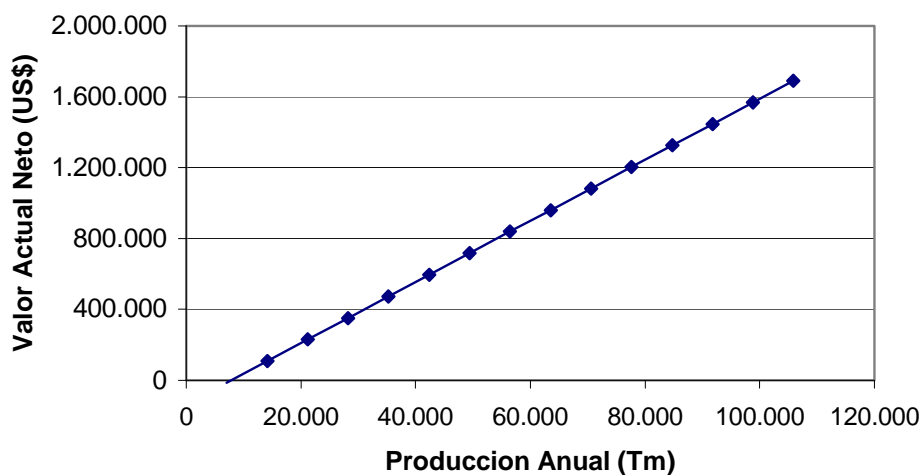


Gráfico 21 Variación del VAN con la producción anual

Elaborado por: Abel Olivares

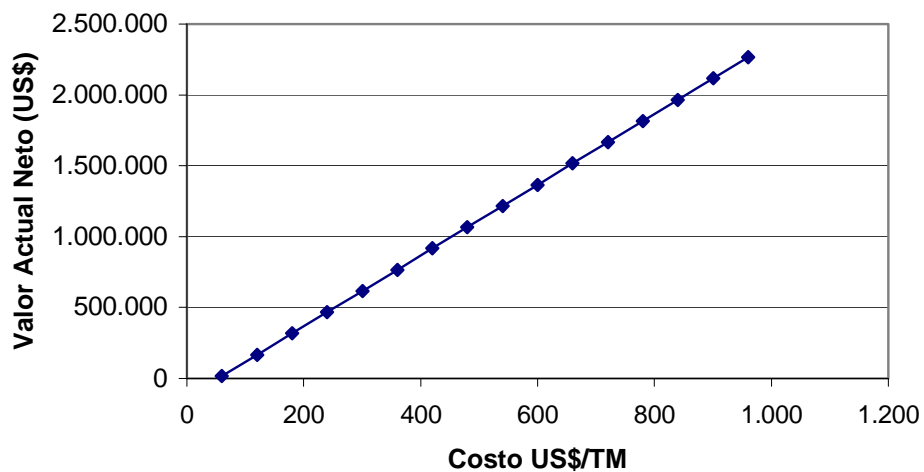


Gráfico 22 Variación del VAN con el costo de la materia prima

Elaborado por: Abel Olivares

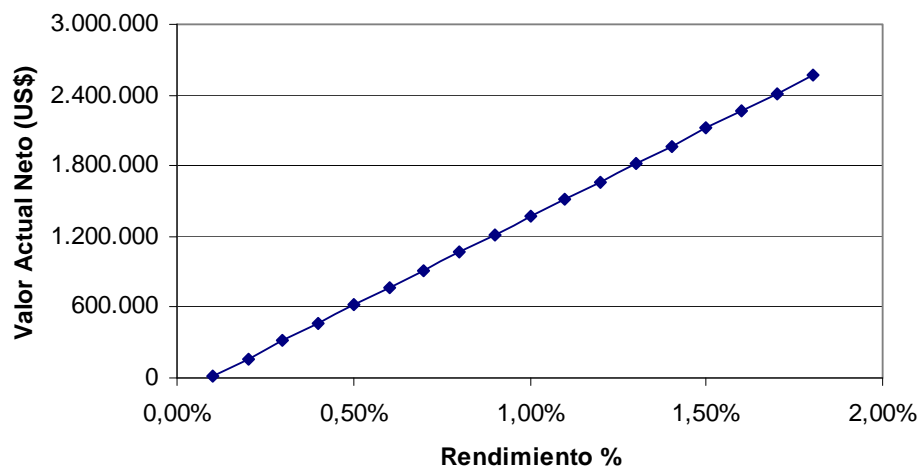


Gráfico 23 Variación del VAN con las mejoras en rendimiento

Elaborado por: Abel Olivares

De los gráficos se puede observar que la inversión deja de ser rentable (VAN=0) para valores extremadamente bajos de rendimiento, producción o de precio de la materia prima. De esto se concluye que el proyecto debería aceptarse por su bajo riesgo y alta rentabilidad.

CAPITULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

1. El sistema propuesto permitiría significativos ahorros a aquellas plantas que aún se manejan con el proceso de cocinado tradicional o a aquellas que están pensando en adquirir cocinadores modernos importados, los cuales requieren una gran inversión.
2. La baja inversión inicial permite trabajar con capital propio, evitando de esta manera endeudamientos con los organismos de crédito cuyas tasas, sumados a otros excesivos costos como el de energía eléctrica, no permiten que el sector productivo sea competitivo ante el resto de la región.

3. El proyecto recupera la inversión en casi cualquier caso a excepción de escenarios en los que las condiciones son casi catastróficas, condiciones que no tienen ningún respaldo estadístico.
4. El sistema es una aplicación que mejoraría la calidad del producto, ya que se podría ajustar mucho más a las especificaciones de cada cliente.

5.2 Recomendaciones

1. Sería deseable que con los datos preliminares obtenidos en el Capítulo 2, se extienda la tabulación de pérdidas en rendimiento y costos de materia prima a cada especie y tamaño de atún que entra a proceso de manera tal de estimar un valor de pérdidas más cercano al real.
2. Es importante que el profesional que instale y programe los equipos tenga una amplia experiencia en control automático y que trabaje conjuntamente con la persona encargada de la producción y del control de la calidad en la regulación del sistema.
3. En el caso de instalar el sistema en el primer cocinador, es primordial volver a realizar las pruebas descritas en el Capítulo 2 a fin de

comparar los resultados de la implementación del sistema. Se recomienda también evaluar las diferencias en el consumo de energía de los cocinadores.

4. Los sensores de temperatura deberán escogerse de manera tal que puedan soportar el constante manipuleo al que serán sometidos al ser insertados constantemente en los atunes. Preferentemente deberán tener extremo en punta o afilado que permita penetrar suavemente la carne. Ver Apendices E.
5. La instalación de un sistema SCADA (System Control and Data Acquisition) permitiría que una sola persona se encargue del monitoreo del precocinado, disminuyendo posibles pérdidas o fluctuaciones en la calidad que pueda haber al ser manejado por diferentes personas. De esta manera se puede utilizar al personal actual en otras labores en la planta. El sistema SCADA permite además, múltiples opciones en relación a la operación de los controladores y la tabulación de la información registrada.
6. Para instalar un sistema paralelo que mediante análisis de elementos finitos pronostique los tiempos de precocinado, sería imperativo dotar al laboratorio de control de calidad de equipo que les permita

determinar las propiedades térmicas de cada lote que entra a producción, para de esta manera reducir el nivel de incertidumbre con respecto a estas variables.

7. Debe procurarse que la temperatura a la que entra la materia prima al cocinador esté unos cuantos grados por encima del punto de congelación, de manera tal de evitar el consumo de vapor para descongelar la carne. El cambio de fase de hielo al estado líquido, consume gran cantidad de energía.
8. Deben forrarse con material aislante todas las tuberías que conducen vapor, a fin de evitar pérdidas de energía.
9. Con respecto al nivel de inventarios, se puede recabar información estadística que permita reducir el nivel a cambio de un cierto nivel de seguridad. Es decir, no asumir el tiempo máximo que podría demorarse un proveedor para estimar el nivel de seguridad del inventario. Se sugiere un modelo probabilístico. En este modelo deberá asignarse también una ponderación de que tan grave puede ser un incumplimiento para cada tipo de cliente.

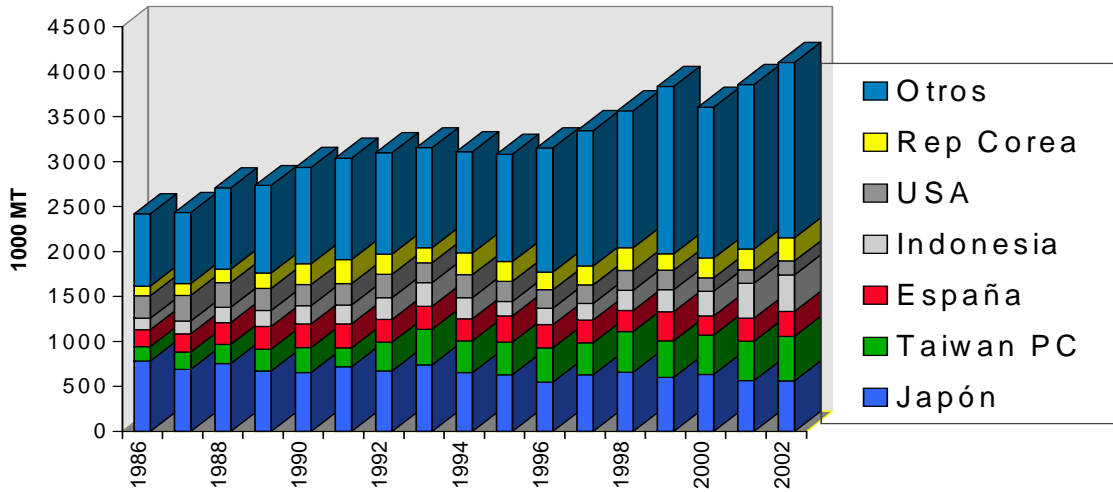
10. A comienzo de cada año se podría estimar la fuerza laboral promedio que se necesitará y no la mínima, a fin de evitar los gastos en exceso que genera la contratación eventual por días o semanas para ajustarse a un permanente superávit en la producción.

11. Se sugiere un sistema SPT (Shortest processing time) para la programación de las ordenes de producción. Este sistema generalmente es el más eficiente en cuanto al tiempo medio de producción, utilización de las instalaciones y tiempo medio de atraso de las órdenes. Sin embargo, debe ser ajustado entre ciertos límites a fin de que las órdenes de producción mas grandes no queden permanentemente relegadas.

APENDICES E

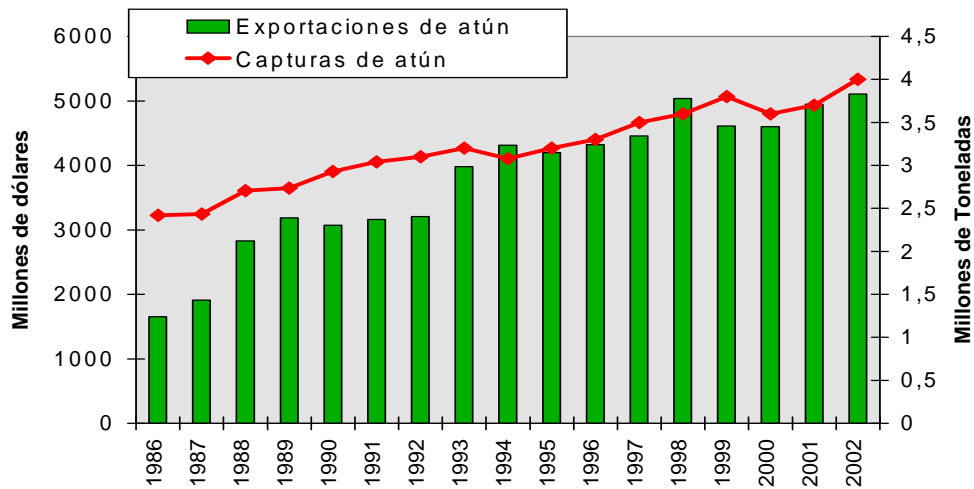
APENDICES

APENDICE A1



Capturas de atún por país

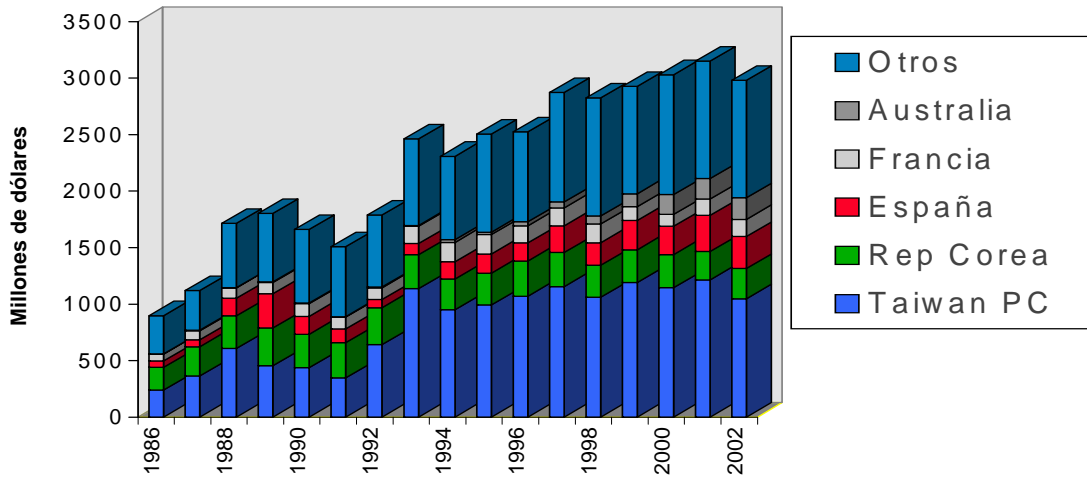
Fuente: www.globefish.org



Exportaciones de atún vs Capturas de atún

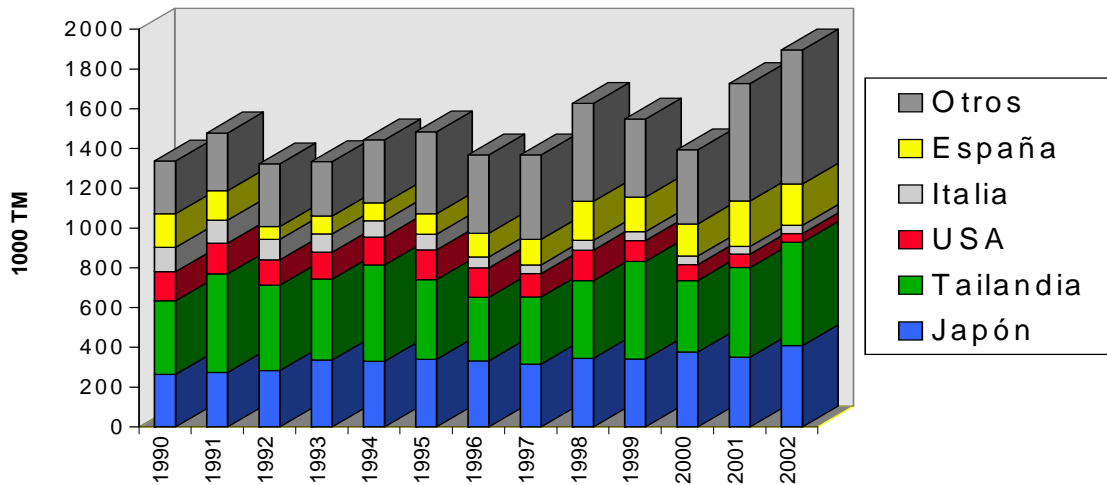
Fuente : www.globefish.org

APENDICE A2



Exportaciones mundiales de atún fresco y congelado

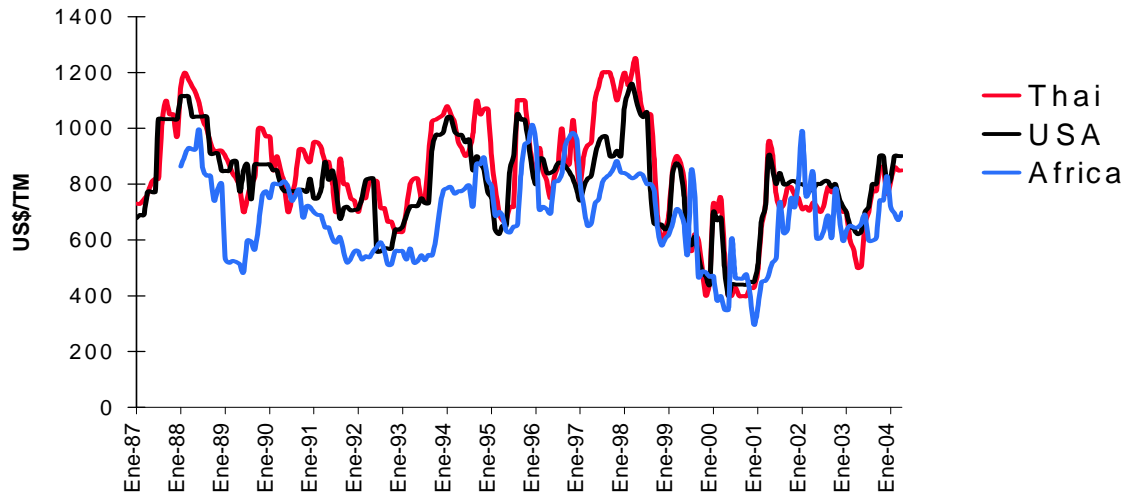
Fuente : www.globefish.org



Importaciones mundiales de atún fresco y congelado

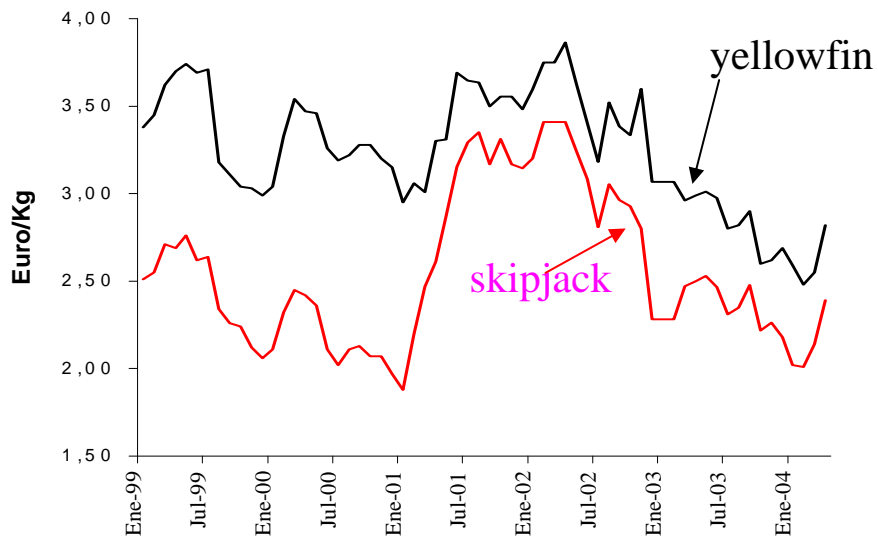
Fuente: www.globefish.org

APENDICE A3



Precios de atún congelado

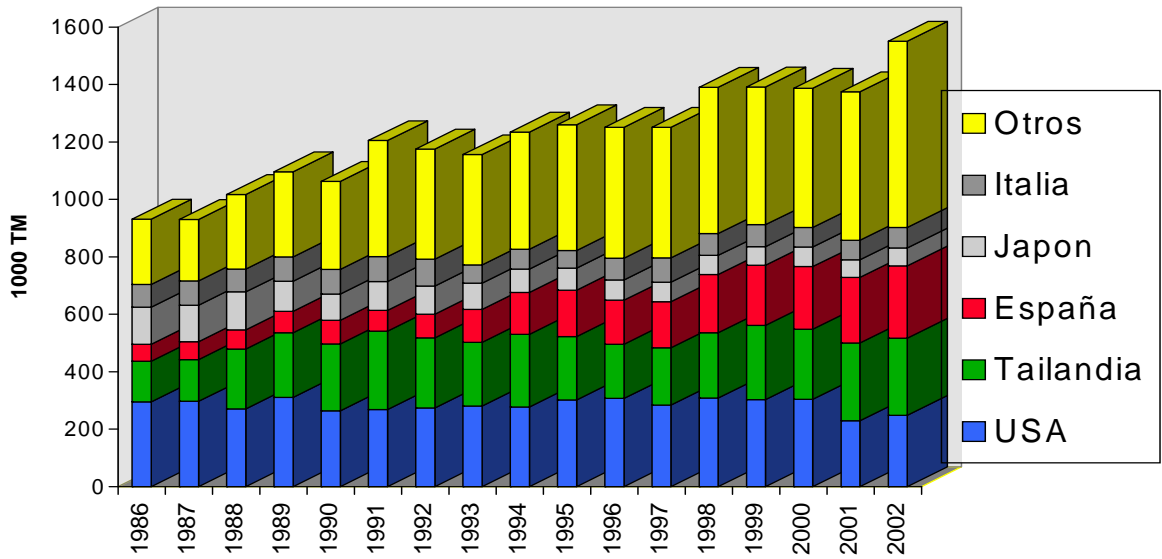
Fuente: www.globefish.org



Precio de compra de lomos de atún en ITALIA

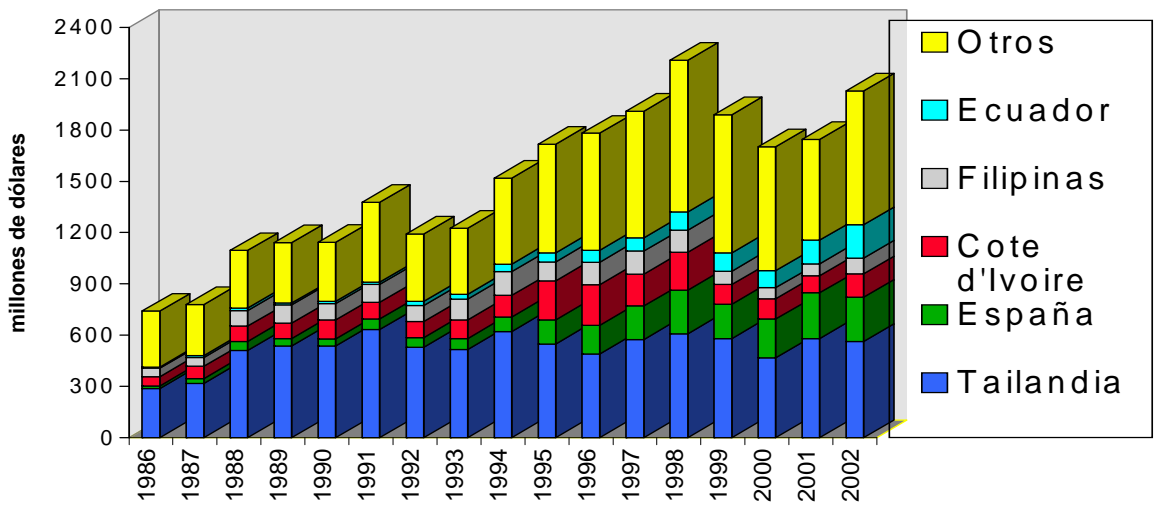
Fuente: www.globefish.org

APENDICE A4



Produccion mundial de atún

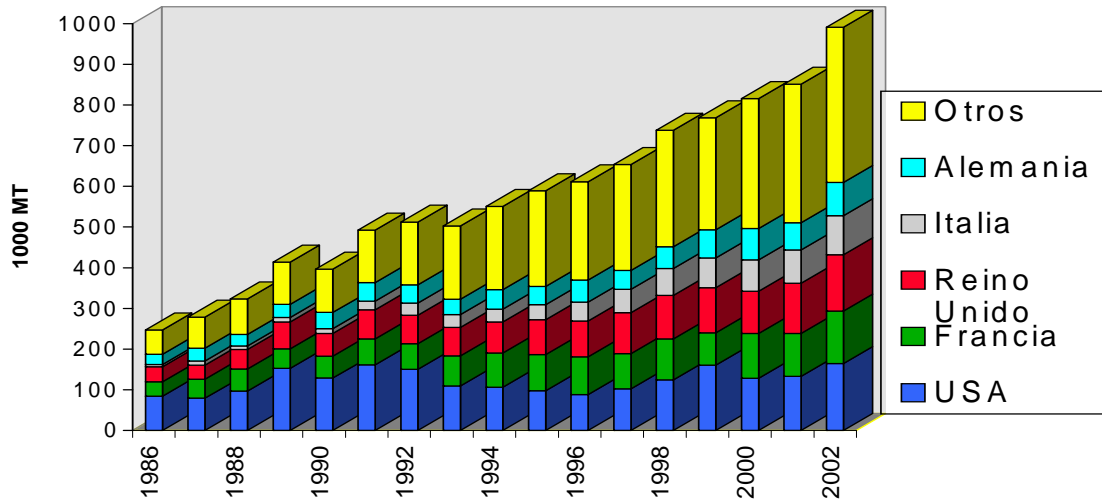
Fuente: www.globefish.org



Exportaciones mundiales de atún

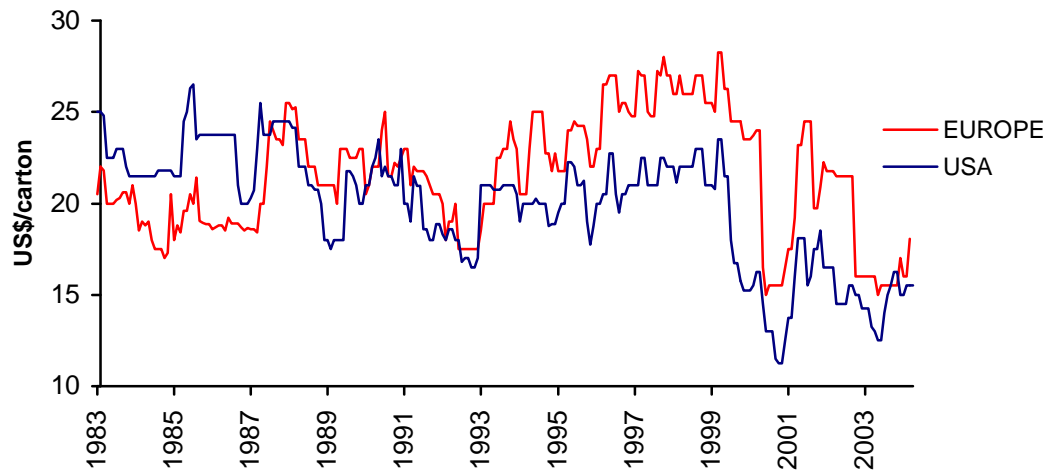
Fuente: www.globefish.org

APENDICE A5



Volumen de importaciones de atún en lata

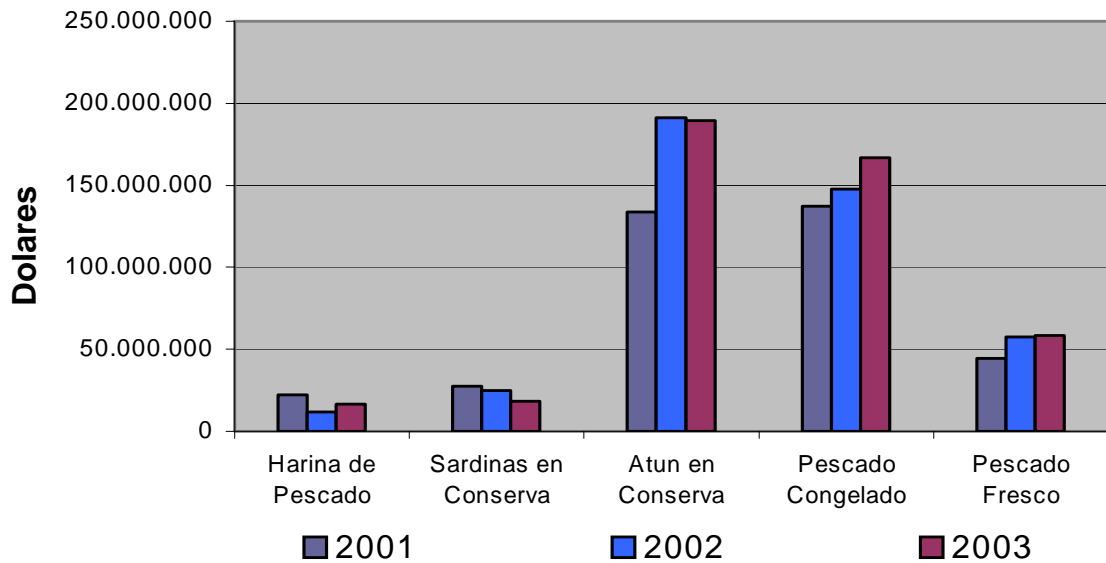
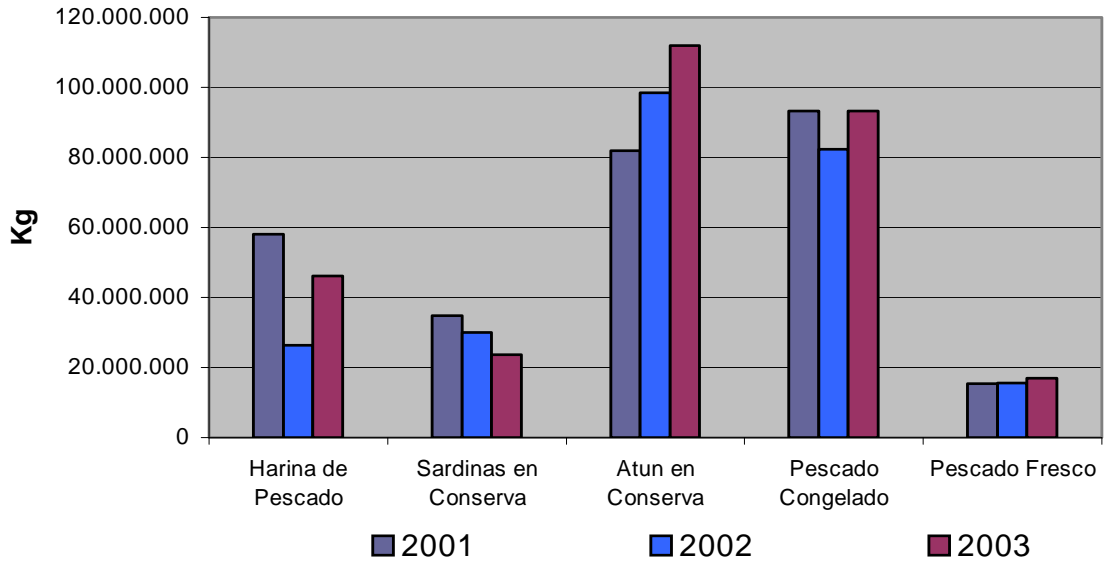
Fuente: www.globefish.org



Precios de atún en lata

Fuente: www.globefih.org

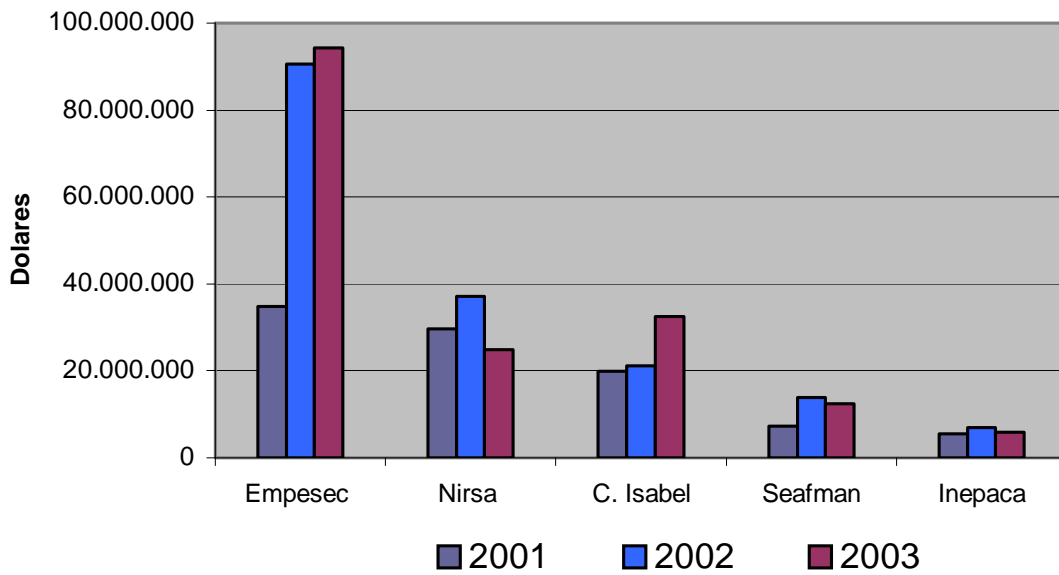
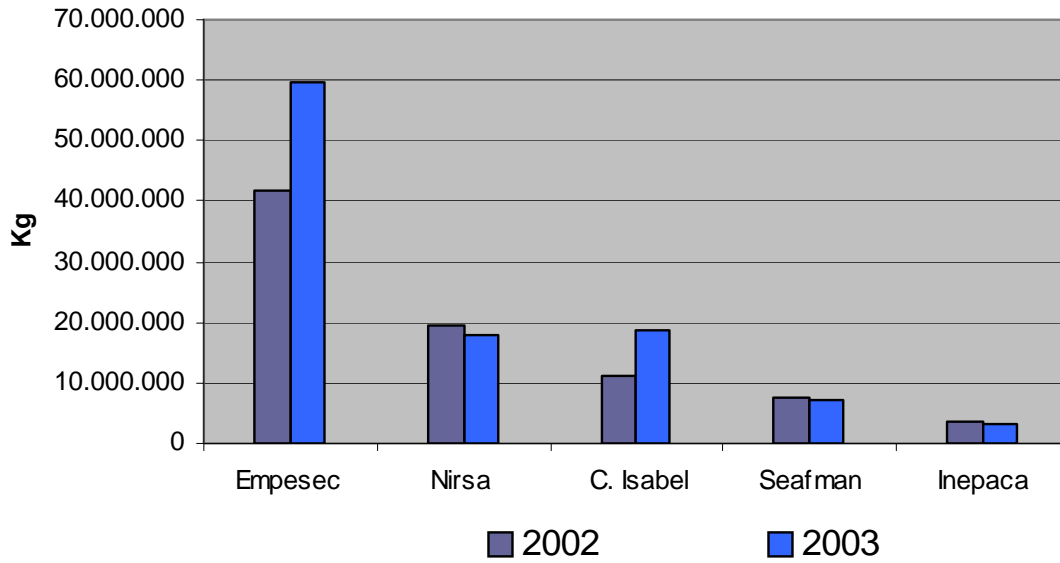
APENDICE A6



Exportaciones Pesqueras Ecuatorianas

Fuente: Revista Ecuador Pesquero

APENDICE A7



Principales Exportadores en Ecuador de atun en conserva

Fuente: Revista Ecuador Pesquero

APENDICE B1

TEMP INICIAL °F	ESPECIE	TIEMPO DE COCINA	CLASIF.	ESPECIE	TIEMPO DE COCINA
22-26	SJ	0.30	18 P/C	YF	0,35
28-32	SJ	0.25	18 P/C	YF	0,3
32-40	SJ	0.20	18 P/C	YF	0,25
22-26	SJ	0.45	14 P/C	YF	0,5
28-32	SJ	0.40	14 P/C	YF	0,45
32-40	SJ	0.35	14 P/C	YF	0,4
22-26	SJ	1.05	10 P/C	YF	1,1
28-32	SJ	0.55	10 P/C	YF	1
32-40	SJ	0.50	10 P/C	YF	0,55
22-26	SJ	1.15	8 P/C	YF	1,2
28-32	SJ	1.05	8 P/C	YF	1,1
32-40	SJ	1.00	8 P/C	YF	1
22-26	SJ	1.25	6 P/C	YF	1,45
28-32	SJ	1.15	6 P/C	YF	1,35
32-40	SJ	1.05	6 P/C	YF	1,25
22-26	SJ	1.45	4 P/C	YF	2
28-32	SJ	1.35	4 P/C	YF	1,5
32-40	SJ	1.25	4 P/C	YF	1,4
22-26	SJ	2.10	3 P/C	YF	2,4
28-32	SJ	2.00	3 P/C	YF	2,3
32-40	SJ	1.50	3 P/C	YF	2,2
22-26	SJ	2.40	2 P/C	YF	3
28-32	SJ	2.30	2 P/C	YF	3,1
32-40	SJ	2.20	2 P/C	YF	3
28-35			PANZA 2	YF	2,3
28-35			PANZA 1	YF	2,4
28-35			LOMO 2	YF	3,3
28-35			LOMO 1	YF	3,45

Tiempos de Precocinado en planta
Fuente: Empresa

APENDICE B2

Clasificacion	Descripcion
Sj 2-3	Skipjack de 2 a 3 libras
Sj 3-4	Skipjack de 3 a 4 libras
Sj 4-7	Skipjack de 4 a 7 libras
Sj +7	Skipjack de mas de 7 libras
Sj +12	Skipjack de mas de 12 libras
Ye 2-3	Yellowfin de 2 a 3 libras
Ye 3-4	Yellowfin de 3 a 4 libras
Ye 4-7	Yellowfin de 4 a 7 libras
Ye +7	Yellowfin de mas de 7 libras
Ye +12	Yellowfin de mas de 12 libras
Ye +20	Yellowfin de mas de 20 libras
Ye +40	Yellowfin de mas de 40 libras
Ye +60	Yellowfin de mas de 60 libras
Ye +80	Yellowfin de mas de 80 libras
Ye +100	Yellowfin de mas de 100 libras
Ye +120	Yellowfin de mas de 120 libras
Ye +140	Yellowfin de mas de 140 libras
Ye +160	Yellowfin de mas de 160 libras
Ye 180-220	Yellowfin de 180 a 220 libras
Be 2-3	Big Eye de 2 a 3 libras
Be 3-4	Big Eye de 3 a 4 libras
Be 4-7	Big Eye de 4 a 7 libras
Be +7	Big Eye de mas de 7 libras
Be +12	Big Eye de mas de 12 libras
Be +20	Big Eye de mas de 20 libras
Be +40	Big Eye de mas de 40 libras
Be +60	Big Eye de mas de 60 libras
Be +80	Big Eye de mas de 80 libras
Be +100	Big Eye de mas de 100 libras
Be +120	Big Eye de mas de 120 libras
Be +140	Big Eye de mas de 140 libras
Be +160	Big Eye de mas de 160 libras
Be 180-220	Big Eye de 180 a 220 libras

Clasificación de los atunes

Fuente: Empresa

APENDICE B3

APENDICE C1

Dia 1				Dia 2			
Peso Inic (TM)	Peso Fin (TM)	Rend %	Pérdidas evitables %	Peso Inic (TM)	Peso Fin (TM)	Rend %	Pérdidas evitables %
5,19	3,87	74,49	1,51	4,90	3,66	74,84	1,16
5,03	3,88	77,01	1,01	4,92	3,76	76,47	0,47
4,97	4,00	80,53	4,53	5,06	3,79	74,89	1,11
4,82	3,79	78,65	2,65	4,87	3,12	64,14	11,86
5,07	4,04	79,62	3,62	5,13	3,84	74,78	1,22
4,88	3,59	73,68	2,32	5,19	3,87	74,55	1,45
4,92	3,94	80,17	4,17	5,06	4,12	81,47	5,47
5,12	3,71	72,59	3,41	5,08	3,67	72,17	3,83
5,11	3,90	76,31	0,31	4,92	3,61	73,43	2,57
5,07	3,96	78,13	2,13	4,84	3,47	71,66	4,34
		Media	2,57			Media	3,35

Dia 3				Dia 4			
Peso Inic (TM)	Peso Fin (TM)	Rend %	Pérdidas evitables %	Peso Inic (TM)	Peso Fin (TM)	Rend %	Pérdidas evitables %
4,82	3,23	67,11	8,89	5,08	3,99	78,53	2,53
4,85	3,70	76,34	0,34	4,99	3,67	73,62	2,38
4,83	3,92	81,28	5,28	4,83	3,66	75,75	0,25
5,13	4,09	79,71	3,71	5,11	4,22	82,58	6,58
5,16	3,98	77,13	1,13	5,07	4,04	79,70	3,70
4,90	3,45	70,30	5,70	5,06	3,87	76,47	0,47
4,90	3,94	80,42	4,42	4,80	3,68	76,59	0,59
5,08	3,91	76,97	0,97	5,07	3,52	69,33	6,67
5,12	3,81	74,57	1,43	5,19	3,69	71,12	4,88
5,16	3,72	72,07	3,93	5,12	3,79	74,16	1,84
		Media	3,58			Media	2,99

Muestreo de rendimientos en precocinado Dias 1-4

Elaborado por: Abel Olivares

APENDICE C2

Dia 5				Dia 6			
Peso Inic (TM)	Peso Fin (TM)	Rend %	Pérdidas evitables %	Peso Inic (TM)	Peso Fin (TM)	Rend %	Pérdidas evitables %
5,19	4,02	77,51	1,51	4,91	3,68	75,01	0,99
5,01	3,81	75,93	0,07	5,04	4,08	80,99	4,99
4,87	3,80	77,97	1,97	5,00	3,43	68,61	7,39
5,04	3,76	74,77	1,23	4,88	3,37	69,00	7,00
4,86	3,75	77,16	1,16	5,11	4,18	81,86	5,86
4,90	3,89	79,37	3,37	4,85	3,60	74,35	1,65
4,91	3,75	76,36	0,36	4,93	3,68	74,60	1,40
4,87	4,00	82,12	6,12	4,91	3,63	73,98	2,02
4,91	3,75	76,38	0,38	5,14	3,64	70,88	5,12
4,90	3,46	70,70	5,30	4,89	3,64	74,53	1,47
		Media	2,15			Media	3,79

Dia 7				Dia 8			
Peso Inic (TM)	Peso Fin (TM)	Rend %	Pérdidas evitables %	Peso Inic (TM)	Peso Fin (TM)	Rend %	Pérdidas evitables %
4,85	3,70	76,30	0,30	5,02	4,17	83,07	7,07
4,93	3,69	74,92	1,08	4,90	3,66	74,69	1,31
5,17	4,14	79,97	3,97	5,12	4,21	82,23	6,23
4,85	3,72	76,77	0,77	5,00	3,78	75,53	0,47
4,90	3,80	77,45	1,45	5,06	3,67	72,37	3,63
5,11	4,13	80,86	4,86	4,94	4,04	81,80	5,80
4,93	3,90	78,99	2,99	4,92	3,68	74,89	1,11
4,85	3,69	76,00	0,00	5,03	3,74	74,40	1,60
5,07	3,75	73,98	2,02	4,89	3,61	73,91	2,09
5,15	3,83	74,35	1,65	4,93	4,20	85,16	9,16

Muestreo de rendimientos en precocinado Dias 5-8

Elaborado por: Abel Olivares

APENDICE C3

Dia 9				Dia 10			
Peso Inic (TM)	Peso Fin (TM)	Rend %	Pérdidas evitables %	Peso Inic (TM)	Peso Fin (TM)	Rend %	Pérdidas evitables %
4,93	3,38	68,53	7,47	4,82	3,64	75,47	0,53
5,00	4,22	84,40	8,40	4,96	3,68	74,07	1,93
5,06	3,80	75,00	1,00	5,09	3,68	72,16	3,84
5,10	3,84	75,25	0,75	5,02	3,83	76,30	0,30
4,88	3,65	74,97	1,03	5,10	3,95	77,45	1,45
4,96	3,50	70,66	5,34	5,13	4,00	78,06	2,06
5,17	3,86	74,66	1,34	4,84	3,56	73,44	2,56
5,01	3,46	69,14	6,86	4,83	3,86	79,81	3,81
5,08	3,93	77,42	1,42	4,85	3,98	82,09	6,09
5,06	3,66	72,35	3,65	5,01	3,91	77,98	1,98
		Media	3,72			Media	2,45

Dia 11				Dia 12			
Peso Inic (TM)	Peso Fin (TM)	Rend %	Pérdidas evitables %	Peso Inic (TM)	Peso Fin (TM)	Rend %	Pérdidas evitables %
5,01	3,43	68,41	7,59	5,14	3,96	76,94	0,94
4,96	3,73	75,25	0,75	4,82	3,80	78,94	2,94
5,03	3,47	69,06	6,94	4,89	4,23	86,61	10,61
4,92	3,62	73,54	2,46	4,94	3,77	76,28	0,28
4,87	3,58	73,67	2,33	4,92	3,84	77,94	1,94
4,92	3,71	75,44	0,56	5,14	3,65	71,02	4,98
5,08	4,06	80,07	4,07	5,13	3,54	68,97	7,03
4,80	3,80	79,14	3,14	4,97	3,57	71,93	4,07
5,03	3,75	74,51	1,49	4,99	3,75	75,00	1,00
5,04	3,83	76,03	0,03	5,06	3,97	78,51	2,51
		Media	2,94			Media	3,63

Muestreo de rendimientos en precocinado Días 9-12

Elaborado por: Abel Olivares

APENDICE C4

Dia 13				Dia 14			
Peso Inic (TM)	Peso Fin (TM))	Rend %	Pérdidas evitables %	Peso Inic (TM)	Peso Fin (TM)	Rend %	Pérdidas evitables %
4,89	3,66	74,73	1,27	4,89	3,53	72,22	3,78
4,81	3,67	76,44	0,44	5,02	3,93	78,29	2,29
4,95	4,05	81,85	5,85	4,88	3,81	78,06	2,06
4,87	3,52	72,22	3,78	4,89	3,67	75,15	0,85
4,88	3,76	77,01	1,01	5,08	3,89	76,70	0,70
5,06	3,49	68,92	7,08	4,92	3,30	67,22	8,78
4,88	3,89	79,71	3,71	5,16	3,40	65,82	10,18
5,07	3,72	73,40	2,60	5,01	3,75	74,84	1,16
5,11	3,74	73,10	2,90	4,84	3,69	76,30	0,30
4,89	3,69	75,41	0,59	5,18	3,90	75,31	0,69
		Media	2,92			Media	3,08

Dia 15				Dia 16			
Peso Inic (TM)	Peso Fin (TM)	Rend %	Pérdidas evitables %	Peso Inic (TM)	Peso Fin (TM)	Rend %	Pérdidas evitables %
4,81	3,48	72,28	3,72	4,96	3,70	74,59	1,41
5,08	3,66	72,05	3,95	4,97	3,95	79,45	3,45
4,96	3,66	73,81	2,19	4,96	3,92	79,00	3,00
5,02	3,92	78,04	2,04	4,98	3,63	72,87	3,13
4,86	3,16	64,93	11,07	4,95	3,95	79,90	3,90
4,84	3,84	79,26	3,26	5,20	3,74	71,89	4,11
5,15	3,84	74,64	1,36	4,90	3,70	75,45	0,55
4,93	3,67	74,48	1,52	5,19	3,79	73,05	2,95
5,04	3,69	73,21	2,79	4,85	3,59	74,01	1,99
5,15	3,76	72,98	3,02	4,87	3,66	75,19	0,81
		Media	3,49			Media	2,53

Muestreo de rendimientos en precocinado Dias 13-16

Elaborado por: Abel Olivares

APENDICE C5

Dia 17				Dia 18			
Peso Inic (TM)	Peso Fin (TM)	Rend %	Pérdidas evitables %	Peso Inic (TM)	Peso Fin (TM)	Rend %	Pérdidas evitables %
4,93	3,72	75,52	0,48	4,98	3,84	77,14	1,14
4,92	3,33	67,76	8,24	5,11	3,93	77,00	1,00
4,81	3,52	73,18	2,82	4,98	4,09	82,23	6,23
5,12	3,70	72,15	3,85	4,85	3,92	80,97	4,97
5,08	4,38	86,33	10,33	4,88	3,83	78,47	2,47
5,15	3,73	72,45	3,55	4,83	3,57	73,93	2,07
5,13	3,65	71,22	4,78	5,12	3,68	71,87	4,13
4,82	3,41	70,76	5,24	5,00	3,84	76,74	0,74
4,98	3,76	75,63	0,37	4,81	3,76	78,19	2,19
5,08	4,01	78,89	2,89	5,01	4,03	80,50	4,50
		Media	4,25			Media	2,95

Dia 19				Dia 20			
Peso Inic (TM)	Peso Fin (TM)	Rend %	Pérdidas evitables %	Peso Inic (TM)	Peso Fin (TM)	Rend %	Pérdidas evitables %
5,14	4,19	81,55	5,55	4,88	3,76	76,94	0,94
4,96	3,91	78,74	2,74	4,90	3,62	74,02	1,98
4,81	3,63	75,53	0,47	4,87	3,78	77,69	1,69
4,98	3,59	72,08	3,92	5,00	4,00	80,03	4,03
5,01	3,91	78,05	2,05	4,85	3,41	70,26	5,74
5,02	3,59	71,44	4,56	4,94	3,91	79,08	3,08
5,14	3,91	76,14	0,14	5,01	3,34	66,76	9,24
4,83	3,90	80,62	4,62	4,84	3,69	76,30	0,30
4,82	3,42	70,93	5,07	4,99	3,92	78,61	2,61
4,81	3,51	73,00	3,00	5,12	3,68	71,82	4,18
		Media	3,21			Media	3,38

Muestreo de rendimientos en precocinado Dias 17-20

Elaborado por: Abel Olivares

APENDICE C6

Dia 21				Dia 22			
Peso Inic (TM)	Peso Fin (TM)	Rend %	Pérdidas evitables %	Peso Inic (TM)	Peso Fin (TM)	Rend %	Pérdidas evitables %
4,88	3,58	73,22	2,78	5,13	3,97	77,34	1,34
4,91	3,98	81,08	5,08	4,97	3,63	73,13	2,87
5,01	3,67	73,16	2,84	5,11	3,76	73,61	2,39
4,98	3,70	74,32	1,68	5,10	3,72	72,96	3,04
5,09	3,35	65,86	10,14	5,02	3,66	72,92	3,08
5,08	3,87	76,18	0,18	5,07	4,14	81,54	5,54
5,09	3,68	72,33	3,67	5,14	3,72	72,24	3,76
5,02	3,75	74,66	1,34	4,94	3,61	73,21	2,79
4,96	3,20	64,49	11,51	4,85	4,11	84,67	8,67
5,10	3,66	71,65	4,35	4,95	3,87	78,21	2,21
		Media	4,36			Media	3,57

Dia 23				Dia 24			
Peso Inic (TM)	Peso Fin (TM)	Rend %	Pérdidas evitables %	Peso Inic (TM)	Peso Fin (TM)	Rend %	Pérdidas evitables %
5,11	3,79	74,11	1,89	4,99	3,73	74,65	1,35
4,99	3,65	73,15	2,85	5,18	3,84	74,14	1,86
4,96	3,59	72,45	3,55	4,84	3,26	67,22	8,78
4,87	3,54	72,83	3,17	5,15	4,13	80,22	4,22
4,98	3,84	77,01	1,01	5,14	4,13	80,25	4,25
5,06	3,94	77,87	1,87	5,13	3,65	71,14	4,86
5,12	3,82	74,61	1,39	5,19	3,57	68,77	7,23
4,88	3,96	81,11	5,11	5,00	3,46	69,10	6,90
5,06	4,06	80,36	4,36	5,00	3,74	74,86	1,14
5,09	3,52	69,17	6,83	5,12	3,62	70,69	5,31
		Media	3,20			Media	4,59

Muestreo de rendimientos en precocinado Dias 21-24

Elaborado por: Abel Olivares

APENDICE C7

Dia 25

Peso Inic (TM)	Peso Fin (TM)	Rend %	Pérdidas evitables %
4,85	3,77	77,66	1,66
5,02	4,26	84,87	8,87
4,80	3,45	71,94	4,06
5,05	3,71	73,56	2,44
4,94	3,77	76,19	0,19
4,85	3,78	78,00	2,00
4,97	4,10	82,46	6,46
4,92	3,49	70,94	5,06
5,18	3,91	75,51	0,49
5,09	3,98	78,20	2,20
		Media	3,34

Dia 26

Peso Inic (TM)	Peso Fin (TM)	Rend %	Pérdidas evitables %
4,85	3,74	77,15	1,15
5,02	3,79	75,47	0,53
4,95	4,00	80,75	4,75
4,80	3,43	71,39	4,61
4,81	3,66	76,25	0,25
5,08	3,69	72,73	3,27
5,15	3,94	76,40	0,40
5,00	4,02	80,50	4,50
4,98	3,83	76,95	0,95
5,09	3,96	77,81	1,81
		Media	2,22

Dia 27

Peso Inic (TM)	Peso Fin (TM)	Rend %	Pérdidas evitables %
4,89	3,87	79,15	3,15
4,92	4,05	82,32	6,32
5,08	4,06	79,90	3,90
5,01	3,99	79,61	3,61
5,12	3,78	73,75	2,25
4,93	3,52	71,30	4,70
4,87	3,48	71,53	4,47
5,17	4,06	78,65	2,65
5,00	3,73	74,52	1,48
4,90	3,64	74,33	1,67
		Media	3,42

Dia 28

Peso Inic (TM)	Peso Fin (TM)	Rend %	Pérdidas evitables %
5,13	3,76	73,21	2,79
4,92	3,55	72,17	3,83
4,83	3,41	70,62	5,38
5,15	3,94	76,40	0,40
5,03	4,19	83,36	7,36
5,14	4,20	81,64	5,64
4,83	4,01	83,16	7,16
5,13	3,99	77,78	1,78
4,92	3,90	79,28	3,28
5,04	3,70	73,26	2,74
		Media	4,04

Muestreo de rendimientos en precocinado Dias 25-28
Elaborado por: Abel Olivares

APENDICE C8

Dia 29				Dia 30			
Peso Inic (TM)	Peso Fin (TM)	Rend %	Pérdidas evitables %	Peso Inic (TM)	Peso Fin (TM)	Rend %	Pérdidas evitables %
4,92	4,12	83,73	5,74	5,05	4,11	81,28	6,79
4,96	4,19	84,56	3,17	4,92	3,99	81,05	1,29
5,05	4,00	79,15	1,56	4,95	4,10	82,81	5,63
5,12	4,15	81,22	3,82	4,85	4,02	82,96	2,58
4,84	4,06	83,99	4,61	4,87	3,60	73,93	2,30
4,87	3,79	77,92	4,73	5,09	4,16	81,74	2,47
4,89	3,98	81,29	4,84	5,15	4,31	83,64	0,03
4,98	4,10	82,40	9,57	4,99	4,16	83,48	0,96
4,98	4,09	82,10	1,23	5,16	4,25	82,21	1,48
4,92	4,15	84,41	0,82	4,86	3,99	81,98	0,96
		Media	4,01			Media	2,45

Muestreo de rendimientos en precocinado Dias 29-30

Elaborado por: Abel Olivares



APENDICE D1

Precooking and Cooling of Skipjack Tuna (*Katsuwonus pelamis*): A Numerical Simulation

J. Zhang, B. E. Farkas* and S. A. Hale

J. Zhang, S. A. Hale: North Carolina State University, Department of Biological and Agricultural Engineering, Raleigh, NC 27695 (U.S.A.)

B. E. Farkas: North Carolina State University, Department of Food Science, Schaub Hall 129, Box 7624, Raleigh, NC 27695 (U.S.A.)

(Received November 6, 2001; accepted May 31, 2002)

A numerical simulation of the commercial tuna precooking and cooling process was developed as an aid to improving these critical thermal processing steps. Using the finite element method, a two-dimensional model of a tuna consisting of three regions, muscle, backbone, and viscera, was developed. Results from previous research on thermal properties of skipjack tuna were applied in the model. Preprocessor software, GAMBIT 1.1, and commercial finite element software, FIDAP 8.52, were used. The model was tested via comparison with experimental data collected in a commercial processing facility and a pilot plant. Good agreement between the simulation and experimental results was obtained.

© 2002 Elsevier Science Ltd. All rights reserved.

Keywords: tuna; finite element method; heat transfer

Introduction

The commercial canned tuna industry holds a dominant position in the United States seafood market. In 1999, a total of \$1.8 billion dollars worth of human consumable canned fish were produced, with tuna representing 72% of this figure (NMFS, 1999). In the past, albacore tuna was the major species used for canning—its delicate, white meat fetching a high price. However, the decline of albacore tuna production off the Pacific coast of California and the shift to a dolphin safe policy in 1993 have led to yellowfin and skipjack tuna replacing albacore as the main species canned in the United States. It now appears that skipjack has rapidly replaced yellowfin as the largest single contributor of raw material to the tuna canning trade.

Precooking and cooling are two critical thermal processes before retorting. After the thawing and butchering processes, tuna are cooked using atmospheric steam (100–102 °C) in rectangular-shaped steel chambers, a process commonly known as precooking. The precooking process removes muscle water which would otherwise be released during retorting and could lead to rejection of the canned product for high-moisture content and low fill weight (Perez-Martin *et al.*,

1989). In addition, precooking causes partial protein denaturation which improves cleaning speed and yield. Precooking time is governed by fish size, initial temperature, and desired endpoint or target temperature. Further cooking beyond the target temperature greatly reduces yield and alters flavor and color (Bell *et al.*, 2001). The target temperature of the tuna at the thickest point of the fish, as measured along the backbone, ranges from 50 to 70 °C depending on a number of factors including raw material quality and tuna species. The time to reach the target temperature ranges from 1 h for small fish to over 8 h for large fish.

When precooking is complete, the steam is turned off and the fish are removed from the cooker and cooled in ambient temperature air until they reach a core temperature of 32–38 °C. This temperature facilitates the cleaning process. During cooling, tuna undergo some important changes. The weight of the cooked tuna is further reduced through evaporation of moisture from the hot fish. A general drying of the surface of the fish often takes place, leading to case hardening and discoloration at the surface. Oil contained in the tuna, which accumulates on the surface during cooking, may oxidize as a result of the temperatures prevailing during cooling. Finally, there is the risk of microbial and/or enzymatic degradation of the tuna. These factors, and others, increase the importance of minimizing the time

*To whom correspondence should be addressed.
E-mail: brian_farkas@ncsu.edu

between precooking and canning, thus reducing the potential for quality and yield losses.

Published research efforts in canned tuna processing to date have focused on degradation of fresh fish (Bateman *et al.*, 1994; Mietz and Karmas, 1977; Ohashi *et al.*, 1991), sensorial quality (Ohashi *et al.*, 1994; Watanabe *et al.*, 1984a, b, 1987; Karube *et al.*, 1984), and nutritional quality (Callahan and Herz, 1989; Ernster, 1982; Simon and Slater, 1982; Thompson, 1989; Simon *et al.*, 1981). Perez-Martin *et al.* (1989) developed a semi-empirical model to estimate the precooking time of albacore tuna. However, the model was based on albacore, not skipjack, tuna, and thermal property and size/shape differences between these two species limit this model to albacore. Cooling time was not addressed by Perez-Martin *et al.* (1989) or others and no research has been found which addresses the interrelationship between the precooking and cooling processes. Finally, the model proposed by Perez-Martin *et al.* (1989) assumed a cylindrical-bodied fish with a homogeneous composition. This assumption ignores the elliptical shape and composite composition of the fish; including the hollow viscera cavity present after evisceration.

Precooking and cooling are primarily conduction processes which are described by Fourier's law. Analytical solution of the conduction equation is generally restricted to simple geometries and relatively simple initial and boundary conditions. Two techniques for numerical solution are the finite difference method (FDM) and the finite element method (FEM). The FEM is now widely used for a broad range of applications in engineering and mathematical physics (Segerlind, 1984). FEM is readily applied to problems involving nonuniform size, shape, and properties. DeBaerdemaeker and Singh (1977) used FEM for the calculation of heat transfer in foodstuffs, showing how the method could readily accommodate a wide variety of shapes, thermal properties, and boundary conditions within a single simple program. FEM has also been used for the mathematical modeling of beef carcass cooling (Arce *et al.*, 1983). Nicolai and DeBaerdemaeker (1992) discussed the stochastic initial and boundary conditions used for simulating heat transfer in foods by the FEM. However, there has been little research conducted on seafood processing utilizing FEM.

To address these issues, the objectives for this research were (1) to develop a numerical simulation to predict the internal temperature profile of a skipjack tuna during precooking and cooling and (2) to test the simulation with data collected at the pilot and commercial scale.

Materials and Methods

Time and temperature data for the precooking and cooling of skipjack tuna were collected on a pilot scale at NC State University, Department of Food Science and on a commercial scale at a tuna cannery in Mayaguez, Puerto Rico. Additionally, size and shape

data needed in the development of the numerical simulation were collected for a range of fish at the NC State University pilot plant.

Pilot plant data

Precooking and cooling. Skipjack tuna of varying size and weight (3.5 – 4.6 kg) were obtained, frozen, from the Star-Kist Seafood plant located in Mayaguez, Puerto Rico. The fish were caught in the Western Tropical Pacific region and brine frozen before arriving at the Star-Kist facility. After shipment to NC State University, the fish were stored at -45°C . In preparation for precooking, the frozen fish were thawed in ambient temperature, quiescent water to a backbone temperature of 3°C . Each fish was then placed in a wire mesh basket and individually cooked in a steam retort at atmospheric pressure to a backbone temperature of $60 - 65^{\circ}\text{C}$. After precooking, each fish was removed from the retort and cooled in room temperature air to a backbone temperature of 35°C . Six type-T thermocouples were used to measure temperatures in each fish. Two thermocouples were used for measuring loin muscle temperature, one for the backbone, one for the viscera, one for the skin, and one for retort temperature (Fig. 1). Approximate depth and length inside the loin, viscera, and backbone were measured for each thermocouple. Thermocouples were connected to a Campbell Scientific (Salt Lake City, UT, U.S.A.) data logger and temperature data were collected every 60 s.

Size and shape data. Six different size and weight fish were cut transversely into four cross sections with an

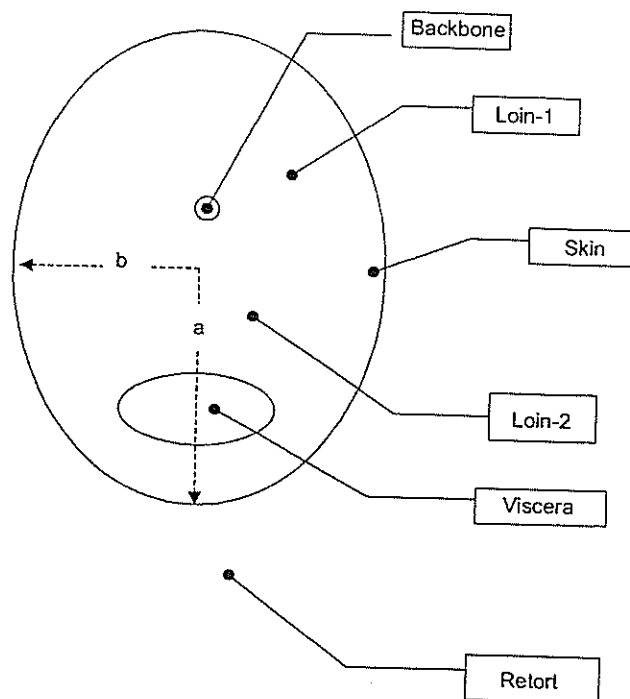


Fig. 1 Relative thermocouple placement for pilot plant experiments and position of major, a , and minor, b , elliptical radii

Table 1 Input parameters used in the precooking simulation. Size data are given for a single, representative fish

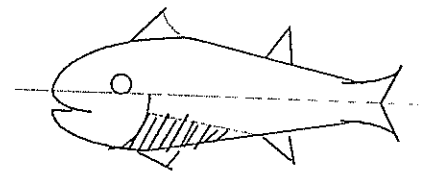
Region	Location	
	Pilot plant	Commercial plant
Loin: 2a 2b	Size (m) ^a	
	0.140	0.150
	0.110	0.112
Viscera: 2a 2b	0.056	0.066
	0.028	0.044
Backbone: D	0.060	0.060
	Thermal conductivity (W/m K) ^b	
Loin	0.57	0.57
Viscera	0.56	0.03 (air) ^c
Backbone	0.40	0.40
Specific heat (J/kg K) ^b		
Loin	3536	3536
Viscera	3446	1022 (air) ^c
Backbone	2263	2263
Density (kg m ³) ^a		
Loin	1048	1048
Viscera	1048	1.0 (air) ^c
Backbone	1048	1048
Convective heat transfer coefficient (W/m ² K) ^a		
Surface	2000	1400

^aSource: Present work with "a" the major radius and "b" the minor radius of an ellipse (Fig. 1)

^bSource: Zhang *et al.* (2001).

^cAll commercial fish were processed with viscera removed.

average thickness of 2 cm each. The cross-section was considered to be an ellipse and the major and minor axes were measured. In addition, the viscera was also considered to be an ellipse and its major and minor axes measured. The backbone was considered as a round body and the diameter was measured. Averages were calculated from these cross section measurements for each fish and used as inputs in the numerical simulation (Table 1).



(a)

Commercial data

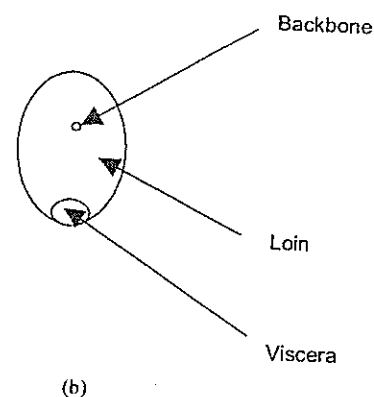
Commercial temperature data were collected using fish of similar size to the pilot-scale testing. Two thermocouples were used, one located at the backbone and a second for cooker temperature. Major and minor axes for loin and viscera were measured as well as the diameter of the backbone. Precooking was carried out according to common commercial practice as described earlier.

Mathematical Model

Model development

A schematic representation of a skipjack tuna was developed (Fig. 2a) with an elliptical cross section (Fig. 2b) resulting when the fish was cut transversely at the middle.

The tuna body was considered to be nonhomogeneous and anisotropic with a variable geometry.



(b)

Fig. 2 (a) Schematic representation of a skipjack tuna (b) Cross section of skipjack tuna body with regions of interest

Two-dimensional heat transfer was assumed with axial conduction (head to tail) considered to be negligible. The precooking and cooling processes constitute a heat conduction problem with convection heat transfer at the surface of the fish. The energy equation is given as

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot (k \nabla T) \quad \text{Eqn [1]}$$

with initial condition

$$T = T_i \quad \text{Eqn [2]}$$

A convective boundary condition was used at the surface

$$-k \frac{\partial T}{\partial \phi} = h(T_a - T_s) \quad \text{Eqn [3]}$$

A symmetry condition at the tuna center was used as the second boundary condition

$$\frac{\partial T}{\partial \phi} = 0 \quad \text{Eqn [4]}$$

Software and hardware

There is considerable commercial software available which utilizes the FEM to solve partial differential equations. GAMBIT 1.1 and FIDAP 8.52 were used for this project (Fluent Inc., Lebanon, NH, U.S.A.). GAMBIT and FIDAP were installed at the North Carolina Super Computing Center (NCSC) on an Origin 2000. The SGI Origin 2000 (Silicon Graphic, Inc.) was equipped with 32 R10000 processors running at 250 MHz, 16 GB of memory, and the IRIX operating system.

The finite element mesh was generated using GAMBIT 1.1, with four-node elements used in the domain. There

were 2110 elements and 1962 nodes in the domain for the pilot-scale simulation and 1881 elements and 1732 nodes in the domain for the commercial-scale simulation (Fig. 3).

Boundary conditions, initial conditions, and property data

Boundary and initial conditions were determined as previously described for the pilot scale and commercial-scale testing (Table 1). Thermal and physical properties of different regions at the fish (loin, backbone, and viscera) were applied from previous work (Zhang *et al.*, 2001). The thermal conductivities for the loin and the viscera were determined using a line heat source method (Rahman, 1995), while thermal conductivity of the backbone was determined using an empirical model (Singh and Heldman, 1993). Specific heat and protein denaturation temperatures were determined using a differential scanning calorimeter (DSC 7, Perkin Elmer Corp., Norwalk, CT, U.S.A.). Density values for different regions of tuna fish were determined by volume displacement. In the commercial processing facility, fish were eviscerated before the precooking process. To account for this in the simulation, the thermal and physical property data of the viscera region were replaced by those of moist air at 100 °C. A slightly different convective heat transfer coefficient and steam temperature were used to account for the different processing environments within the pilot plant and the commercial facility. The simulation required the main process variables as input: fish physical and thermal properties, and process parameters (Table 1) including surrounding (ambient) temperature during precooking and cooling.

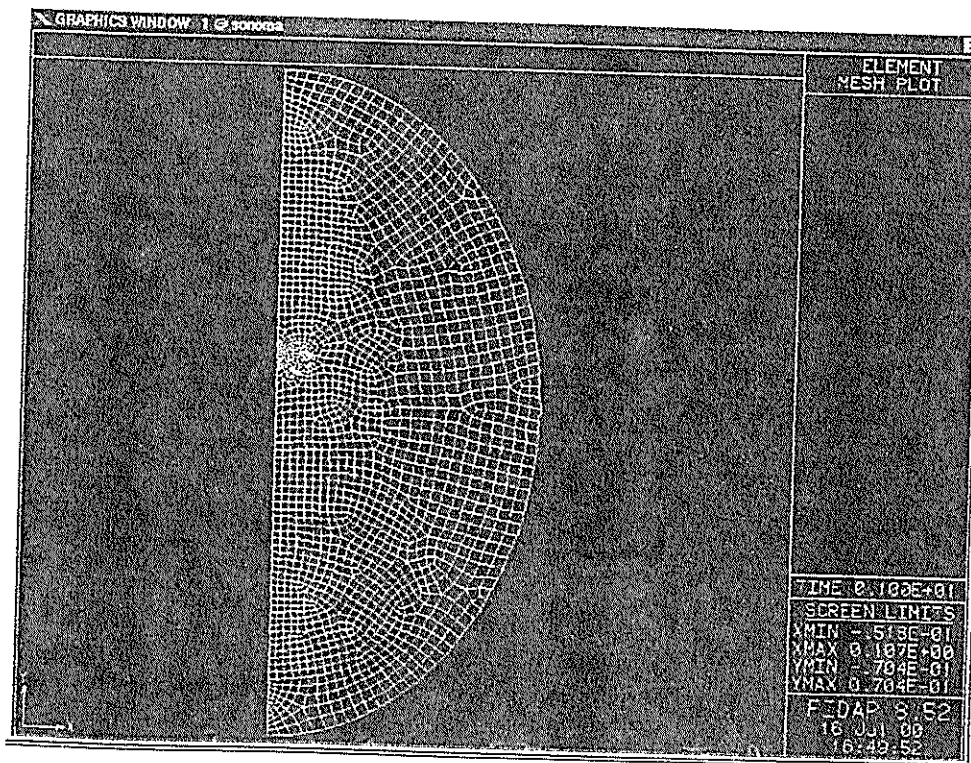


Fig. 3 Finite element mesh used for commercial skipjack tuna precooking and cooling simulation

Results and Discussion

One of the primary difficulties in comparing numerical and experimental temperature profiles is in the validation of thermocouple placement. As discussed above, the depth and length of thermocouples inside the loin, viscera, and backbone were recorded for pilot plant data. However, it is likely that the location did not match a node point in the model domain. Thus, minor differences were expected between the numerical and experimental data.

Thermal conductivity (k) and specific heat (c_p) for loin, viscera, and backbone were obtained from previous work (Zhang *et al.*, 2001). Each of the methods used to determine these properties contains experimental error. In addition, the measured properties of the raw, biological material varies from fish to fish. The combined effect of experimental error in property determination and variability of the raw material may explain differences between the simulation results and experimental data. The differences were not quantified but Perez-Martin *et al.* (1989) found that small changes (<10%) in thermal diffusivity resulted in simulated temperature values that over or under predicted the experimental data.

Experimental and numerical results

The model was tested by comparing simulation data with the pilot- and commercial-scale temperature profiles from representative fish. All pilot- and commercial-scale runs generated similar time-temperature profiles with variations due to fish size and initial

temperature, thermocouple placement, and media heating/cooling rates and temperatures.

Precooking process. Comparison of the mathematical model and pilot-scale data was done by plotting the skipjack tuna backbone, loin, and viscera temperatures for each data set (Figs 4–6). The simulation agreed well with the experimental data for each trial, and error was likely due to the initial temperature input from experimental data and differences in property data and thermocouple location. An exception to this lies with the backbone temperature for the first 20 min of precooking (Fig. 4). In the simulation, the initial temperature of each region was set using the thermocouple reading from that region in the test fish. While a smooth temperature gradient existed in the test fish (e.g. warmer on the surface to cooler in the core before precooking), this was not done in the simulation, resulting in a step change in temperature between regions. The temperature used in the model for the loin at the backbone was slightly higher than the true temperature. This initial temperature difference between the backbone and loin caused a quick rise in backbone temperature over the first few minutes of the simulation (Fig. 4). The loin meat (Fig. 5) and viscera (Fig. 6) simulation results were in very good agreement with the experimental profiles. The comparison of the mathematical model and commercial precooking data for skipjack tuna backbone temperature showed excellent agreement (Fig. 7). A slight disagreement in the first 10 min remained due to differences in the initial temperatures and spatial temperature gradient. Further refinement of the initial condition to yield a spatially dependent initial temperature would lead to improvements in agreement between

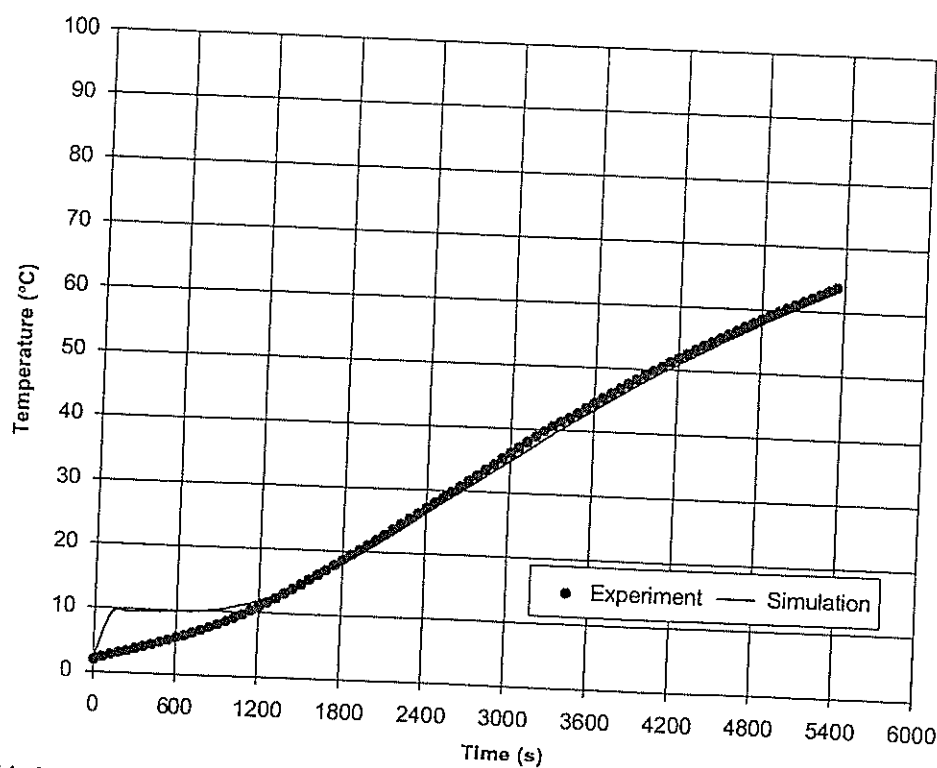


Fig. 4 Model validation: simulation vs. experimental backbone temperature profile for pilot-scale skipjack tuna precooking

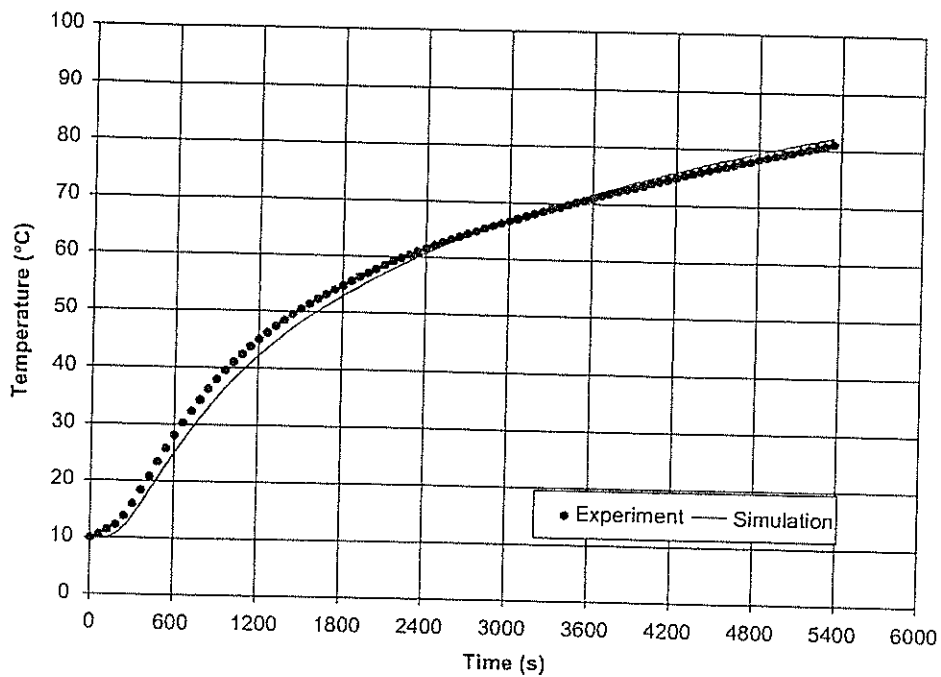


Fig. 5 Model validation: simulation vs. experimental loin temperature profile for pilot-scale skipjack tuna precooking

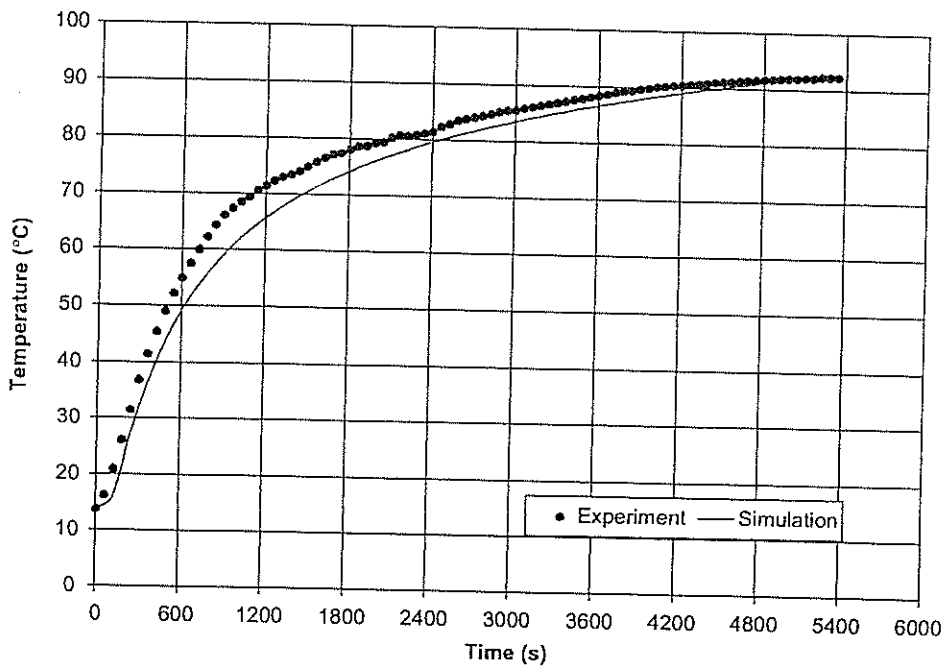


Fig. 6 Model validation: simulation vs. experimental viscera temperature profile for pilot-scale skipjack tuna precooking

the model and field data. These improvements would be small relative to the amount of effort required to spatially map the initial temperature variation within the tuna body.

Internal temperature profiles. The temperature profile for four locations in a skipjack tuna during a simulated pilot scale precooking process was plotted to compare the heating rate of each region (Fig. 8). The viscera was found to heat faster than loin meat and backbone in the pilot-scale simulation. However, the commercial-scale

simulation showed that loin meat had a higher heating rate than the voided viscera region (Fig. 9). This was due to the low thermal conductivity of the air occupying the voided viscera region.

While it is mandatory for the tuna industry to eviscerate fish before precooking, there is a question as to how this void region affects the heating rate. This difference in pilot scale (with viscera in, Fig. 8) and commercial scale (eviscerated, Fig. 9) loin heating rates showed that loin meat of the commercial process heats at a faster rate despite starting at a lower temperature. This greater

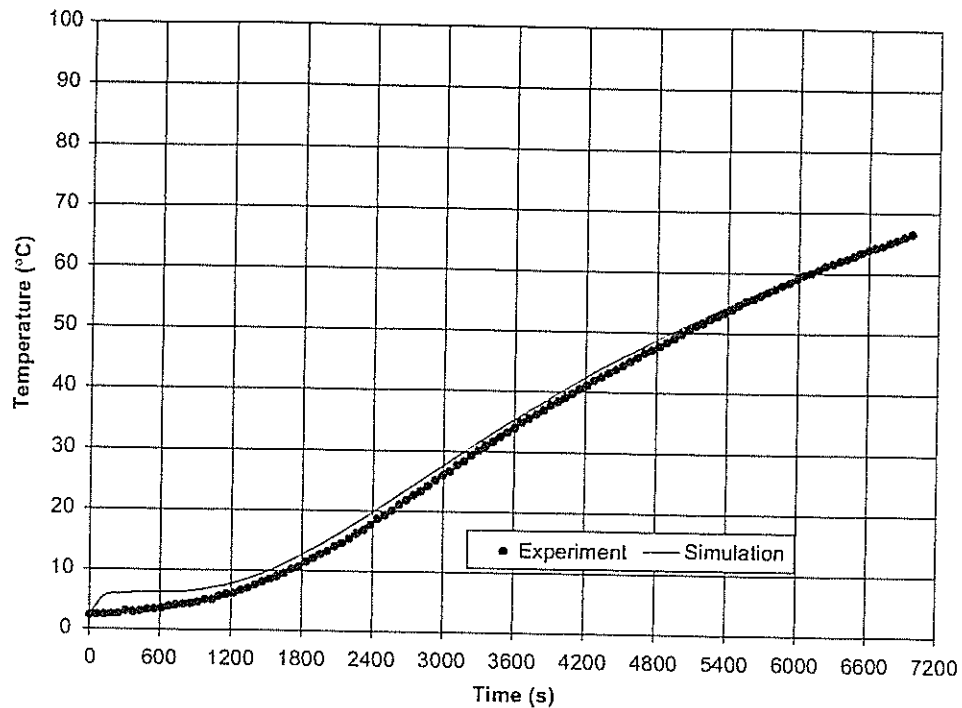


Fig. 7 Model validation: simulation vs. experimental backbone temperature profile for commercial skipjack tuna precooking

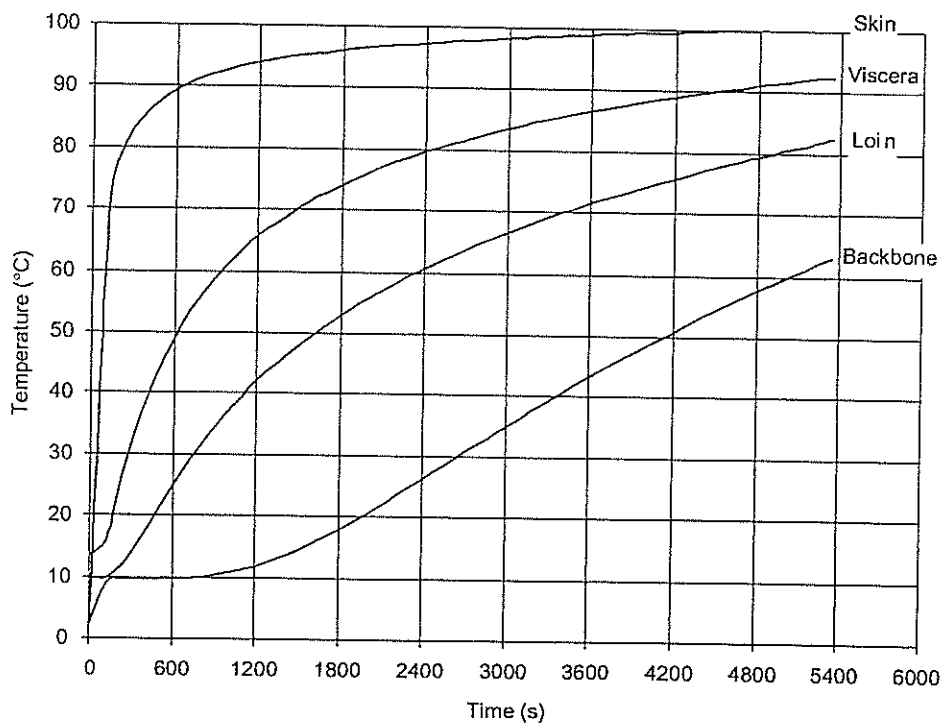


Fig. 8 Simulation cooking temperature profiles for different regions in skipjack tuna during pilot plant processing

heating rate is desirable from the processing standpoint; hence this result will aid in maintaining the evisceration process.

Cooling process. Cooling is achieved, after precooking, via free convection in ambient air. Cooling leads to firming of the precooked muscle and increased yield at the cleaning table. Additionally, cleaning is a manual

process and cooling is necessary for ease of handling during cleaning. A comparison of the mathematical model and pilot-scale temperature data for backbone, loin, and viscera showed good agreement (Figs 10–12). Agreement between the simulation and commercial data was not as close with the model lagging slightly behind the experimental data (Fig. 13). This result is likely due to changes in the fish such as collapse of the viscera

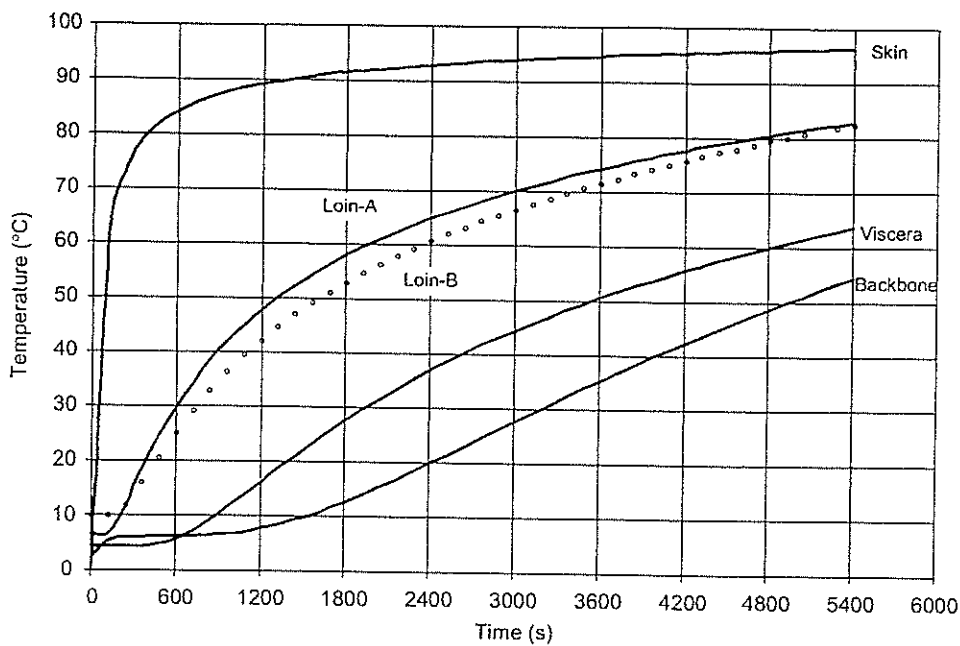


Fig. 9 Simulated cooking temperature profiles for different regions in skipjack tuna during commercial processing. Loin-A refers to the loin temperature for an eviscerated fish. Loin-B refers to the loin temperature in a fish with viscera in place

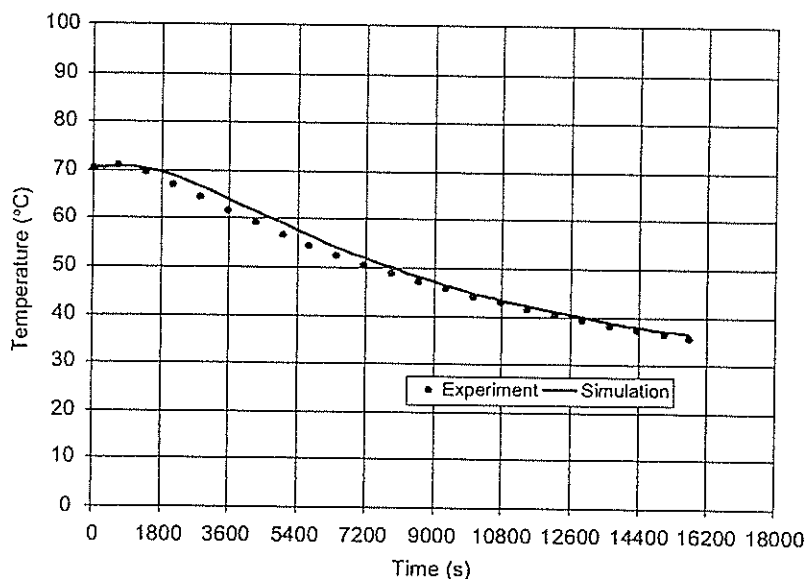


Fig. 10 Model validation: simulation vs. experimental backbone temperature profile for pilot-scale skipjack tuna cooling

region and breaking apart of the intact body during precooking. These changes, as well as a loss in moisture, resulted in higher cooling rates in the instrumented fish.

Model limitations. The primary limitation to this simulation of tuna precooking and cooling was the assumption that moisture loss had a negligible effect on heat transfer. In general, there is an 18% moisture loss (unpublished data) in commercial precooking. This could lead to changes in physical and thermal properties and an overall shrinking of the fish body. These are not addressed in the current model's formulation. Regardless, the good agreement between the simulation and experimental data indicates that the assumption was a

good one and the model may be used for parametric analysis as an aid in improving the two processes.

Conclusions

A predictive two-dimensional mathematical model for commercial tuna precooking and cooling was developed. Simulated temperature data were compared with experimentally determined data. It was found that the model was in good agreement with temperature profiles generated at the pilot scale and commercial scale. This agreement between the observed data and numerical simulation confirms the validity of the two-dimensional model assumption.

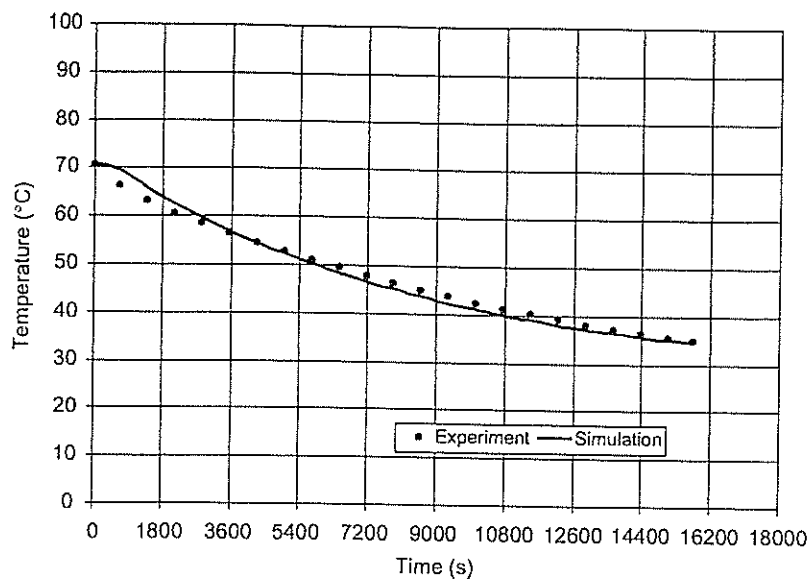


Fig. 11 Model validation: simulation vs. experimental loin temperature profile for pilot-scale skipjack tuna cooling

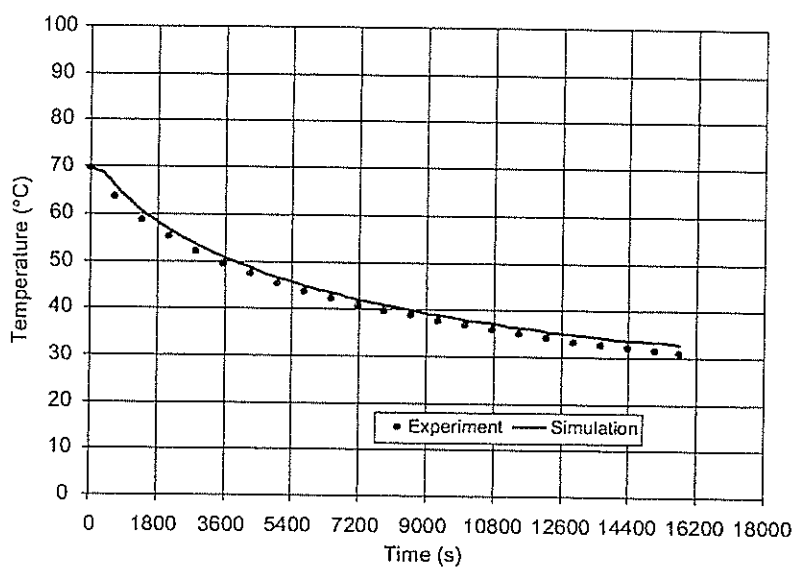


Fig. 12 Model validation: simulation vs. experimental viscera temperature profile for pilot-scale skipjack tuna cooling

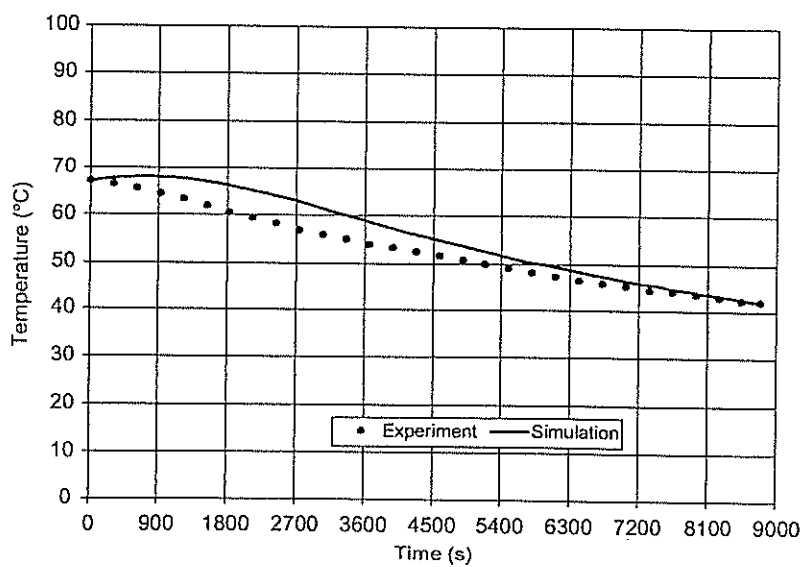


Fig. 13 Model validation: simulation vs. experimental backbone temperature profile for commercial skipjack tuna cooling

Heat transfer through tuna during the precooking and cooling process was considered a heat conduction process with convective boundary conditions. While moisture loss represents a significant loss in weight, it was assumed that it would have a negligible impact on heat transfer.

The simulation was confirmed through the comparison with data gathered at the pilot and commercial scales. The simulation may now be used to predict temperature profiles in different regions and for different processing scenarios. Finally, by incorporating physicochemical and biochemical data such as enzyme kinetics, improvements on the current process may be gained.

Nomenclature

c_p	Specific heat capacity (J/kg K)
h	Thermal conductivity (W/m K)
k	Convective heat transfer coefficient (W/m ² K)
t	Time (s)
T	Temperature (°C)

Greek symbols

ρ	Density (kg/m ³)
ϕ	Dimension of coordinate system (dimensionless)

Subscripts

i	Initial
a	Ambient
s	Surface

Acknowledgements

The authors acknowledge the financial support of Star-Kist Seafood Inc., the United States Department of Agriculture National Needs Fellowship Program, and North Carolina Sea Grant. We also extend thanks to Dr Jon W. Bell, Ms Heather E. Stewart, and Ms Elizabeth H. Webb for their assistance in conducting the pilot and commercial-scale testing. The help of Dr Eric Sills from the North Carolina Supercomputer Center is also greatly appreciated.

References

- ARCE, J. A., POTLURI, P. L., SCHNEIDER, K. C., SWEAT, V. E. AND DUTSON, T. R. Modeling beef carcass cooling using a finite element technique. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, **26**, 950-960 (1983)
- BATEMAN, JR., R. C., ELDRIGE, D. B., WADE S. J., MCCOY-MESSER, E., JESTER, E. L., AND MOWDY, D. E. Copper chelation assay for histamine in tuna. *Journal of Food Science*, **59**(3), 517, 518, 543 (1994)
- BELL, J. W., FARKAS, B. E., AND HALE, S. A. Effect of thermal treatment on moisture transport during steam cooking of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*). *Journal of Food Science*, **66**(2), 1-7 (2001)
- CALLAHAN, T. AND HERZ, J. Flavor and texture improved canned animal flesh and process. U.S. Patent Number 4,871,575 (1989)
- DEBAERDEMAEKER, J. AND SINGH, R. P. Modeling heat transfer in foods using the finite element method. *Journal of Food Process Engineering*, **1**, 37-50 (1977)
- ERNSTER, J. H. Process for preparing canned tuna fish. U.S. Patent Number 4,363,820 (1982)
- KARUBE, I., MATSUOKA, H., SUZUKI, S., WATANABE, E. AND TOYAMA, K. Determination of fish freshness with an enzyme sensor system. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, **32**, 314-319 (1984)
- MIETZ, J. L. AND KARMAS, E. Chemical quality index of canned tuna as determined by high pressure liquid chromatograph. *Journal of Food Science*, **42**, 155-158 (1977)
- NICOLAI, B. M. AND DEBAERDEMAEKER, J. D. Simulation of heat transfer in foods with stochastic initial and boundary conditions. *Trans IChemE*, **70**(Part C) (1992)
- NMFS (National Marine Fisheries Service). <http://www.st.nmfs.gov/st11>. *Processed Fishery Products* (1999)
- OHASHI, M., NOMURA, F., SUZUKI, M., OTSUKA, M., ADACHI, O. AND ARAKAWA, N. Oxygen- sensor-based simple assay of histamine in fish using purified amine oxidase. *Journal of Food Science*, **59**(3), 519-522 (1994)
- OHASHI, E., TAKAO, Y., FUJITA, T., SHIMIZU, Y. AND EGASHIRA, M. Semiconductive trimethylamine gas sensor for detecting fish freshness. *Journal of Food Science*, **56**(5), 1275-1278, 1286 (1991)
- PEREZ-MARTIN, R. I., BANGA, M.G., SOTELO, AUHOURG, S. P. AND GALLARDO, J. M. Prediction of precooking times for Albacore (*Thunnus alalunga*) by computer simulation. *Journal of Food Engineering*, **10**, 83-95 (1989)
- RAHMAN, M. S. *Food Properties Handbook*. Boca Raton, FL: CRC Press Inc., pp. 225-273, 275, 283-338 (1995)
- SEGERLIND, L. J. *Applied Finite Element Analysis*, 2nd Edn. New York: John Wiley and Sons. (1984)
- SIMON, F. J. AND SLATER, W. B. Chemical analysis for quality determination of tuna. U.S. Patent Number 4,309,185 (1982)
- SIMON, F. J., REINKE, W. C., SOO, H. M., KIENSTRA, M. AND RICHERT, S. H. Process for producing a fish product. U.S. Patent Number 4,301,181 (1981)
- SINGH, R. P. AND HELDMAN, D. R. *Introduction to Food Engineering*, 2nd Edn. San Diego, CA: Academic Press, p. 142 (1993)
- THOMPSON, R. M. *Hydralized casein preparation*. U.S. Patent Number 4,828,847 (1989)
- WATANABE, E., TOYAMA, K., KARUBE, I., MATSUOKA, H. AND SUZUKI, S. Determination of inosine-5-monophosphate in fish tissue with an enzyme sensor. *Journal of Food Science*, **49**, 114-116 (1984a)
- WATANABE, E., OGURA, T. AND TOYAMA, K. Determination of adenosine-5-monophosphate in fish and shellfish using an enzyme sensor. *Enzyme Microbiological Technology*, **6**, 207-211 (1984b)
- WATANABE, E., NAGUMO, A., HOSHI, M., KONAGAYA, S. AND TANAKA, M. Microbial sensors for the detection of fish freshness. *Journal of Food Science*, **52**(3), 592-595 (1987)
- ZHANG, J. R., FARKAS, B. E. AND HALE, S. A. Thermal properties of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*). *International Journal of Food Properties*, **4**(1), 81-90 (2001)

APENDICE D2

ENGINEERING R&D: Predictive Models Boost Tuna Yields

Intelligent software continuously models heat transfer and adjusts process for optimum results.

Magazine Issue Date: 04/01/2001

By Charles E. Morris Senior Editor

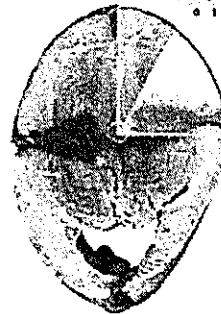
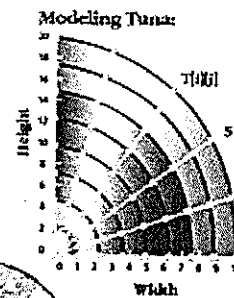


FMC FoodTech recently introduced a model predictive control system to optimize the tuna pre-cook process. To learn more about the system, Food Engineering interviewed Dr. Zhijun Jun Weng, Research Fellow in the Process Systems Division at FMC FoodTech in Madera, Cal., who developed the mathematical algorithms at the heart of the patented technology for real-time control of the tuna cooking process.

FE: What is TunaCAL?

Weng: TunaCAL is a mathematical modeling software developed to optimize the tuna precooking process and provide significant benefits in product yield, consistency and quality.

FE: Where does TunaCAL fit in the tuna process?



Weng: In a typical process, the fish are frozen aboard the boats after catch, then transported to the plant and stored frozen. It could take as long as four to six months from catch to the process. When ready for processing, the fish are thawed with fresh water or seawater, then loaded into a precooker for cooking at about 214 degrees F until the desired backbone temperature is reached. Precooking denatures the protein and makes the tuna easier to clean. After cooling with a water spray, the fish are skinned and cleaned, which includes separating the white meat from the red meat. The white meat is then canned, sealed and sterilized in retorts. TunaCAL optimizes precook time and temperature to improve yields and reduce energy costs without overcooking the product, thus improving product quality in terms of texture and moisture content and reducing skinning labor as well.

FE: By how much are yields improved?

Weng: It varies, depending on the species of tuna, the environmental conditions in which they were caught, the quality of raw tuna and processing conditions in a particular plant. Generally there are three species used in canning - Yellowfin, Skipjack and Albacore. In North America, Albacore is labeled as the pure white meat, whereas Yellowfin and Skipjack are labeled as the light meat. In some species, we have seen pure meat recovery improvements of greater than 5 percent. Higher yield means higher operating profits for the processors.

FE: By how much are energy costs reduced?

Weng: Energy savings with TunaCAL are very positive. We haven't calculated exact energy savings because they will vary from one processor to another depending on all the variables -- species, size, precooker capacity -- that we discussed earlier. But we've seen steam savings of more than 30 percent, so we're quite sure that the energy savings are very significant.

FE: What product variables are measured to calculate the TunaCAL model?

Weng: The major parameters are the species of tuna; the physical dimensions of the fish including length, width, height and weight; fat (oil) content; specific heat; and thermal conductivity.

FE: What process variables are measured and predicted?

Weng: Essentially the cooking time and cooking temperature. Based on the initial incoming temperature of the fish and the physical variables, TunaCAL continuously models heat transfer in the product, predicts the

cooking time and the cooking temperature required to reach the desired backbone temperature, and automatically adjusts process time to achieve the target backbone temperature, all in real time. It applies thermal credit for come-up and cooling times.

FE: How is the process controlled?

Weng: TunaCAL runs on FMC's LOG-TEC Momentum operating system, which automatically corrects for process deviations without operator intervention. Recipes for each species are preprogrammed. The tuna are batched by species, and as close to uniform size as possible so they have essentially the same heat-transfer characteristics. Batch sizes in an Asian plant average about two tons; in a U.S.-owned plant a batch can range as high as six tons. The operator simply selects the species and fish counts per basket, and from there it's a "hands-off" process. All the valves and field devices are automatically sequenced, and LOG-TEC controls both the heating and cooling phases. LOG-TEC also captures and records process information for plant and business-system use.

FE: What kind of equipment is used for precooking? Is it sort of like a blancher?

Weng: It resembles a blancher in principle. It's a rectangular atmospheric vessel with two doors, one for loading the raw tuna and the other for discharging the cooked tuna. It uses steam for heating and water for cooling. In European plants, i.e. in Spain which is Europe's largest tuna processor, they use quite a number of vacuum precookers. FMC has developed a new vacuum precooker to improve the cooked tuna quality and yield.

FE: Can TunaCAL be installed in existing processing systems?

Weng: TunaCAL is available as a retrofit package for either non-vacuum applications or with the new FMC vacuum precooker. FMC can also provide completely integrated tuna production lines which consist of vacuum precookers, tuna fillers, vacuum liquid fillers, seamers and overpressure sterilizers for plastic containers, pouches, glass jars and traditional cans.

FE: Can the mathematical modeling concept be applied to other thermal processes, such as pasteurization or cooking other products such as meat and vegetables?

Weng: Yes, models can be developed for just about any object, such as vegetables, beef and chicken filets. We've developed models for some of these products and others are under development. And, as you know, we've developed predictive models for sterilization processes with our

NumerICAL, HydroCAL and AseptICAL systems.

FE: Has TunaCAL been applied yet to a commercial tuna process?

Weng: Yes, several major U.S. and international tuna processors are currently using it.

APENDICE D3

SIMULACION EN MATLAB

Se realizó una simulación del comportamiento de la temperatura del atún durante el precocinado utilizándose el programa MatLab version 5.3, en el módulo de transferencia de calor , utilizando los datos de las pruebas que se utilizaron en la simulación detallada en el Apéndice D1.

Los datos utilizados fueron los siguientes:

Temperatura ambiente del cocinador: 100°C

Temperatura inicial del atún: 3°C

Se aproximó a una forma elíptica , la sección transversal del atún con las siguientes dimensiones y propiedades:

Eje mayor : 14 cm (0.140 m)

Eje menor: 11 cm (0.110 m)

Conductividad térmica: 0.57 W/m°K

Calor específico: 3536 J/Kg °K

Densidad: 1048 kg/m³

Se introdujeron también un área elíptica y otra circular correspondiente a las vísceras del atún y la espina del atún con las siguientes dimensiones y propiedades:

Vísceras	Espina
Eje mayor : 5,6 cm (0.056 m)	Diametro: 6 mm (0.006 m)
Eje menor: 2,8 cm (0.028 m)	Conductividad térmica: 0.40 W/m°K
Conductividad térmica: 0.56 W/m°K	Calor específico: 2263 J/Kg °K
Calor específico: 3446 J/Kg °K	Densidad: 1048 kg/m ³
Densidad: 1048 kg/m ³	

Se utilizó un coeficiente de transferencia térmica por convección h del vapor al atún,

$$h = 1400 \text{ W/m}^2 \text{ °K}$$

Se resolvió el modelo para tiempos correspondientes a 5, 10, 30, 60, 75 y 90 minutos de precocinado. En las gráficas se señala la temperatura de la carne próxima a la espina para cada tiempo obteniéndose resultados similares a los detallados en el Apéndice D1. Cada unidad de tiempo en esta simulación corresponde a 100 segundos.

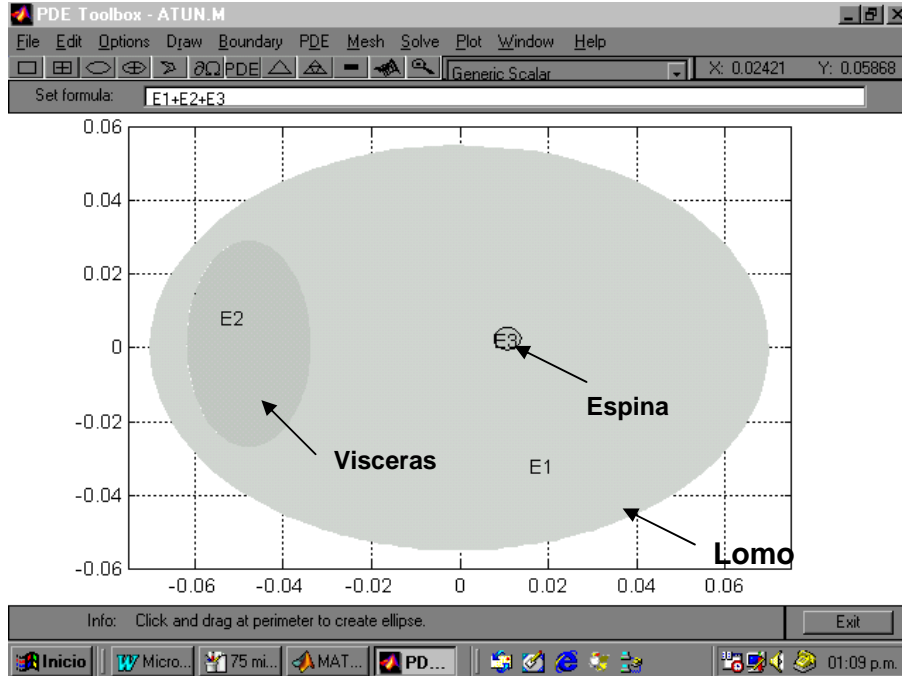


Fig 1. Geometria de la seccion transversal

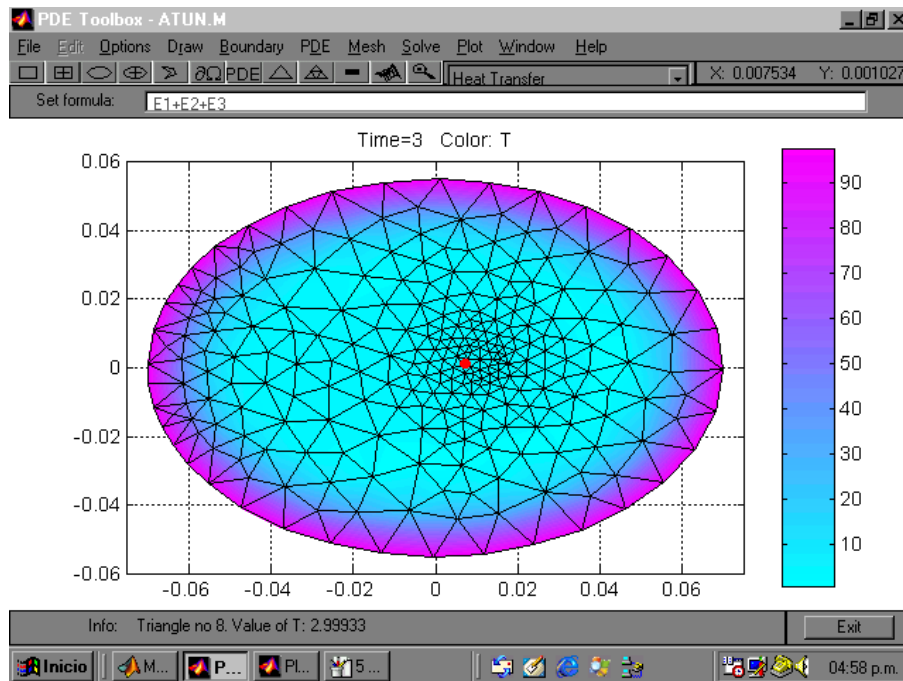


Fig 2. Perfil de temperatura para t = 5 min

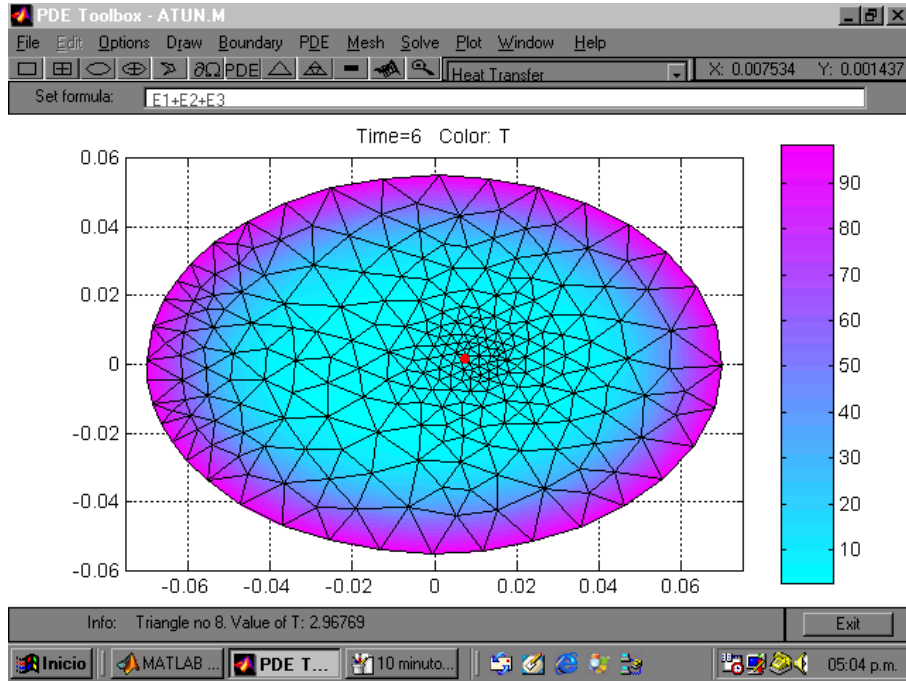


Fig 3. Perfil de temperatura para t = 10 min

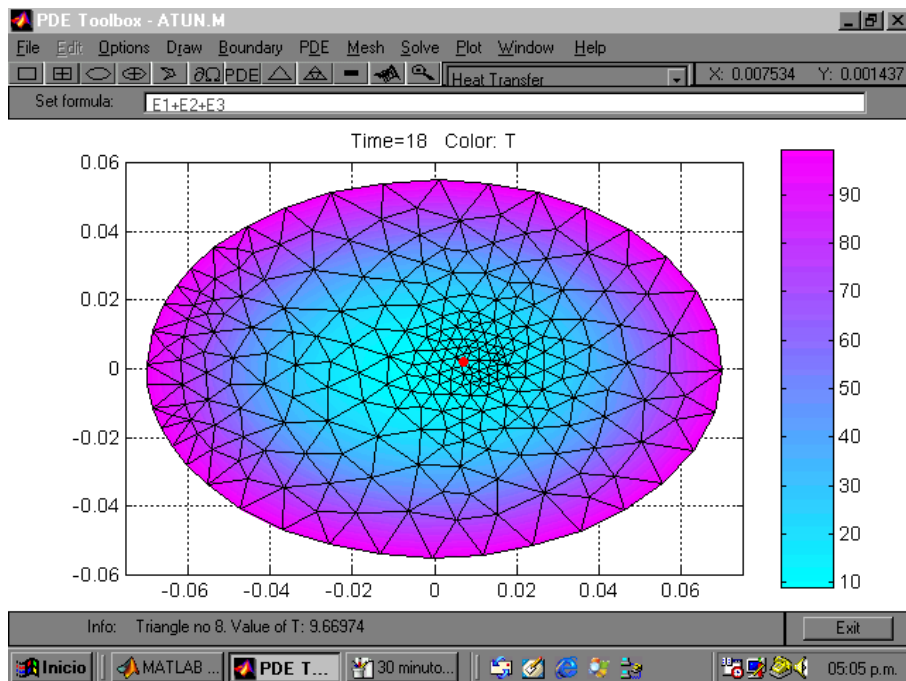


Fig 4. Perfil de temperatura para t = 30 min

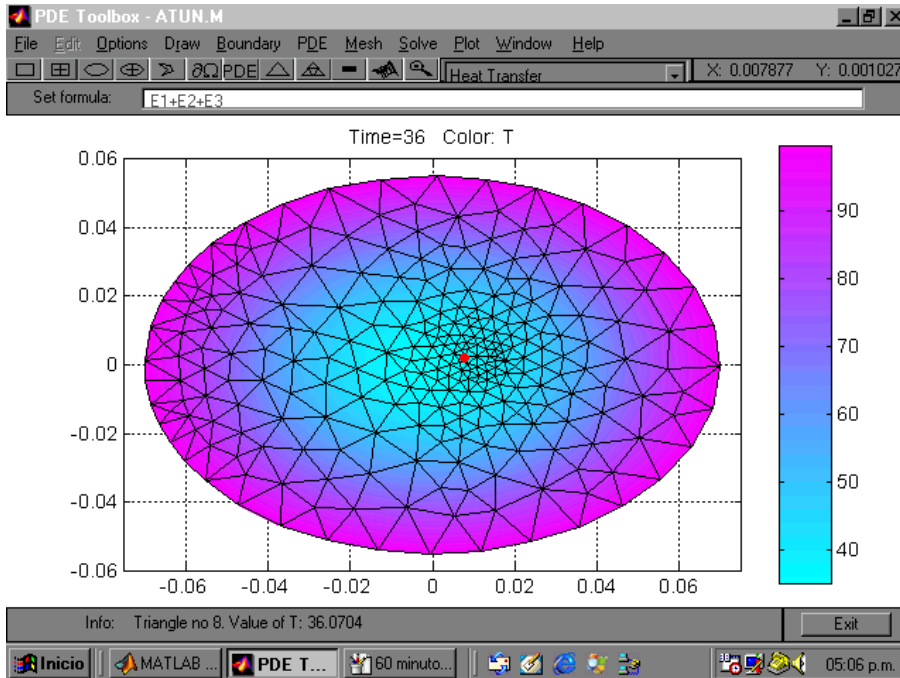


Fig 5. Perfil de temperatura para t = 60 min

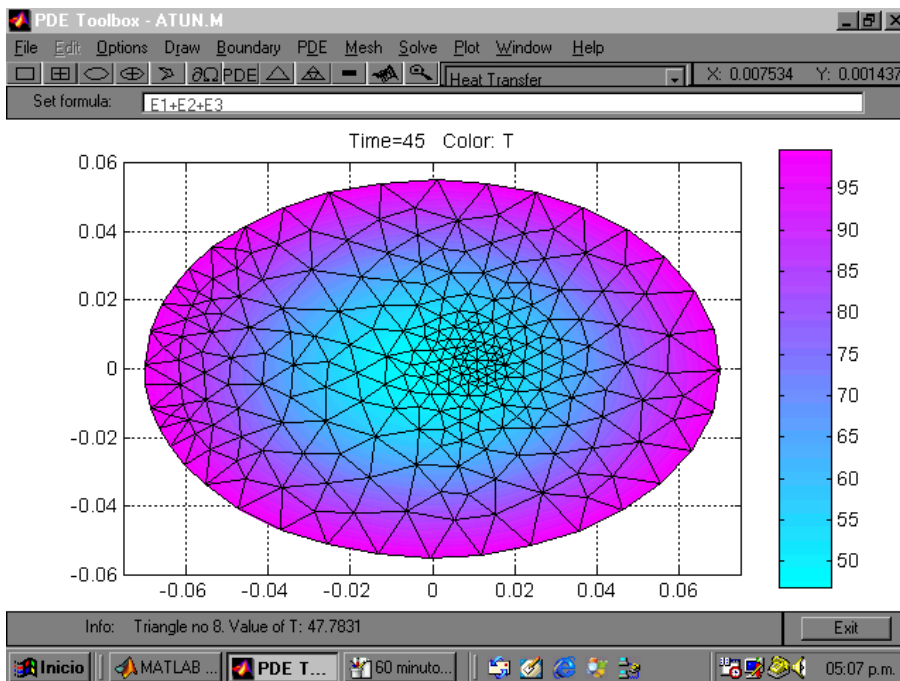


Fig 6. Perfil de temperatura para t = 75 min

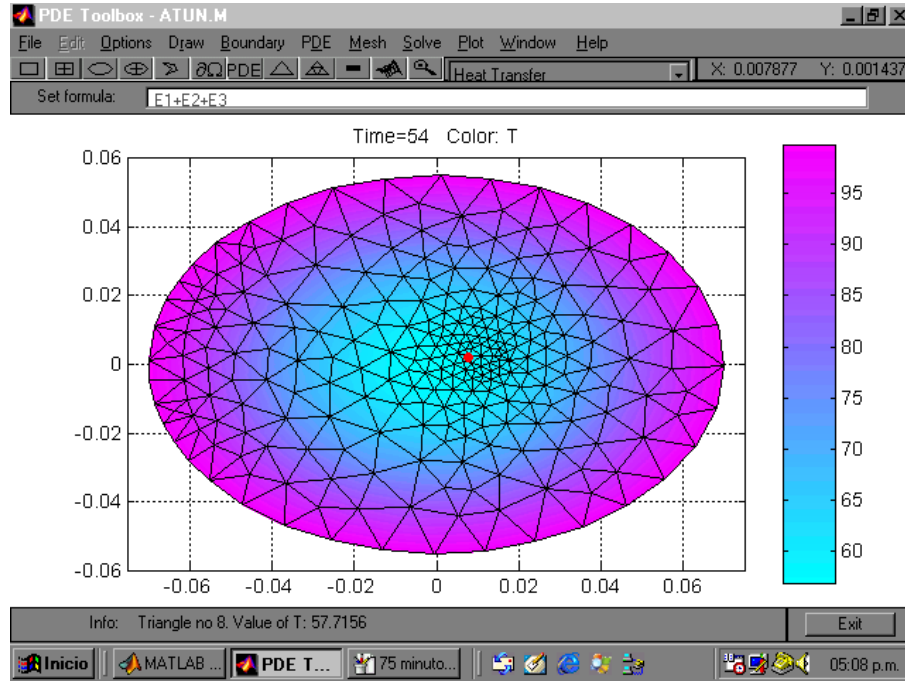


Fig 7. Perfil de temperatura para t = 90 min

Copyright © 2001, Pyromation, Inc. All rights reserved.

The insertion type of RTD probes with formed pistol grip handles shown below, are used to measure internal temperature of meat, fish, poultry, and other food products, both fresh and slightly frozen varieties. Other uses include penetration of soft process materials such as rubber and plastic compounds. The materials of construction are all FDA compliant for use in sanitary applications. The sheath tips are made of full hard drawn 304SS hypodermic tubing with a sharp needle point insertion tip. Handles are formed stainless steel tubing and are available in three size and strength configurations to match the process duty requirements, and all leads are epoxy sealed.

FIGURE 1

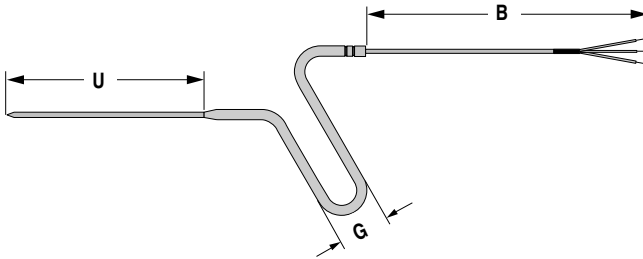
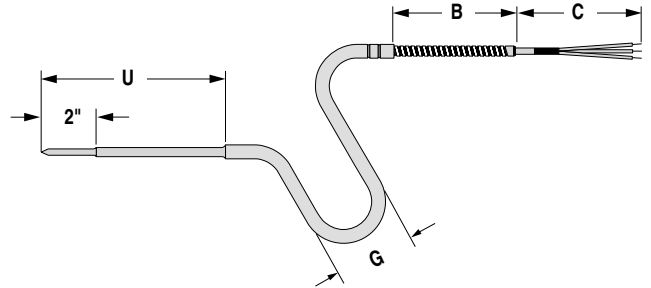


FIGURE 2



STANDARD ASSEMBLY SPECIFICATIONS

Element:	100 ohm Platinum / $\pm .12\%$ @ 0°C	Temp. Range:	-40 to 400°F (-40 to 204°C)
Temp. Coefficient:	.00385 ohms / ohm / 0°C	Leadwire:	Stranded Silver Plated Copper Conductors, Teflon Insulated

Example Order Number:

1 RBF185PGM2 - **1-2** 06 - **2** M3120 - **3** 2

RTD SENSOR STYLE					
ORDER CODE	TEMP. COEF.	TIP DIA	INSERT 'U'	GRIP 'G'	GRIP DIA
FIGURE 1 - LIGHT DUTY HANDLE					
RBF185PGL2	.00385	.134" OD	6"	1(1/4)"	1/4"
FIGURE 2 - MEDIUM DUTY HANDLE					
RBF185PGM2	.00385	.134" OD	6"	2(3/8)"	5/16"
RBF185PGM3	.00385	.180" OD	6"	2(3/8)"	5/16"
FIGURE 2 - HEAVY DUTY HANDLE					
SINGLE ELEMENT					
RBF185PGH3	.00385	.180" OD	6"	2(3/8)"	3/8"
DUPLEX ELEMENT					
RBF285PGH3	.00385	.180" OD	6"	2(3/8)"	3/8"

Consult factory for RTD probes with higher accuracies or other insertion lengths-12" max. Consult factory for longer lengths

TERMINATIONS	
ORDER CODE	DESCRIPTION
2	Leads stripped 2" tinned 1/2"
3	Leads stripped 2" w/spade lugs
4	Standard male RTD plug (350°F max)
6	Miniature male RTD plug (350°F max)

EXTENSION LEADWIRE							
ORDER CODES *			WIRE GA.		INSULATION		
FIG. 1 LGT. DUTY	FIG. 2 MED. DUTY	FIG. 2 HEAVY DUTY	SGL	DUP	EA. COND.	OVERALL JACKET	ARMOR
M3_ _ _	M3_ _ _		24	N/A	Teflon	Teflon SS OB, Teflon	None
	S3_ _ _		24	N/A	Teflon	Silicone Rubber	None
		T3T_ _ _	24	28	Teflon	Teflon	Extr. Teflon

* Insert 3 digit 'B' dimension in inches - consult factory for other leadwire

Specification DataFile

- **PID controller with ‘one shot’ auto-tune**

 - single loop, heat/cool and ramp/soak as standard

- **Quick code, front face or PC configuration**

 - easy commissioning and operation using our Windows™-based software

- **Universal process input with transmitter power supply**

 - direct connection for any process signal

- **Hoseproof front panel and full noise immunity**

 - reliability in the harshest environments

- **RS485/MODBUS serial communications**

 - SCADA, PLC and open systems integration



**COMMANDER 100 –
the-easy-to use 1/8 DIN
controller with extensive
application capabilities**

COMMANDER 100

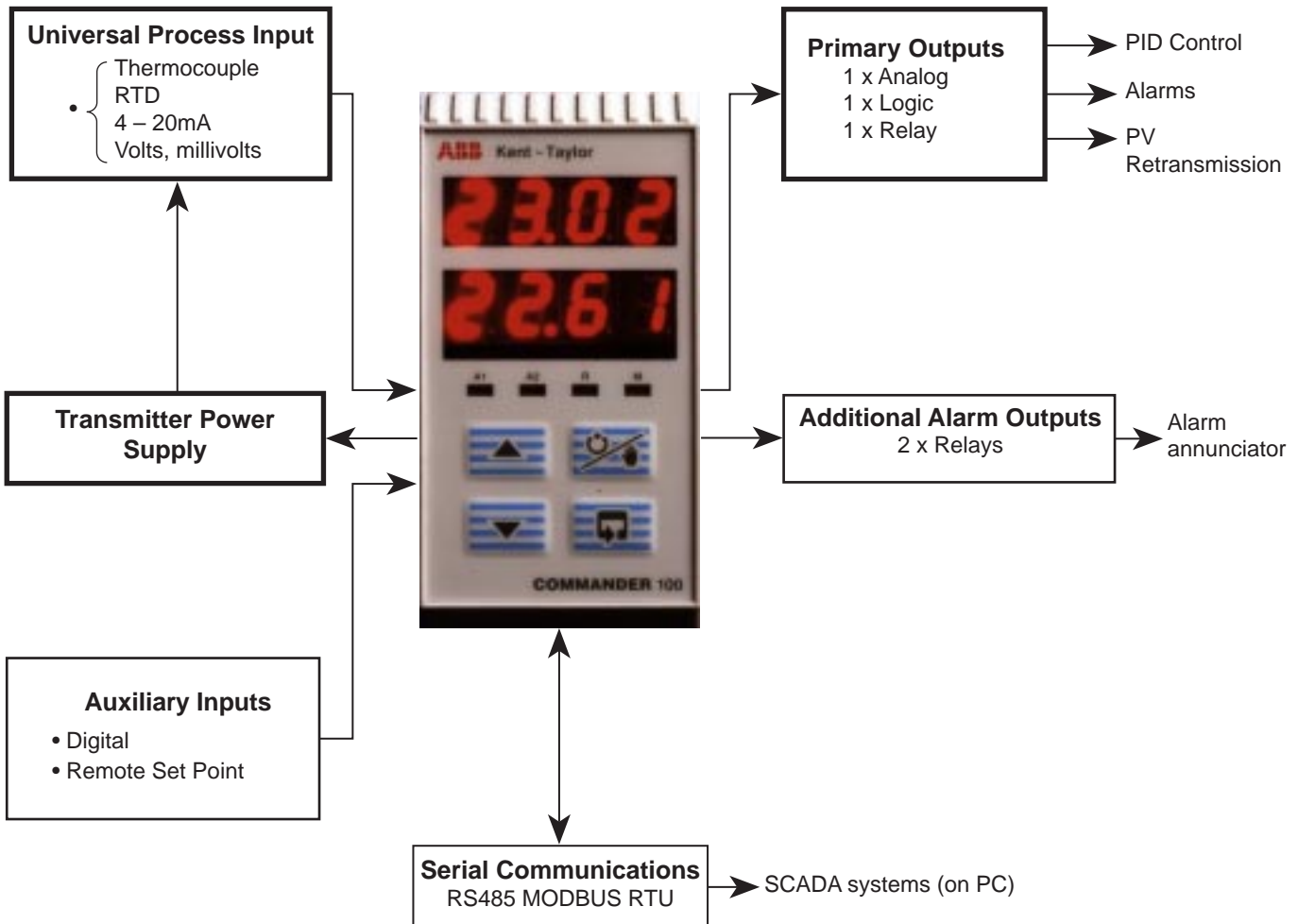
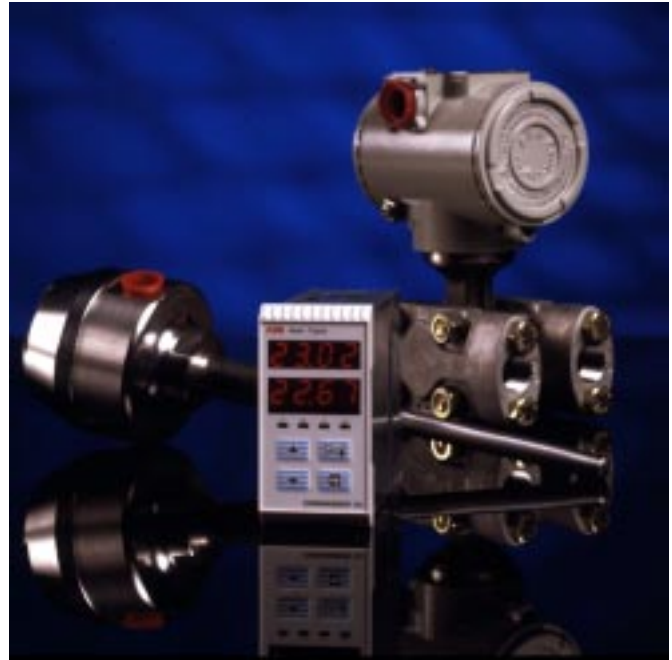
The COMMANDER 100 Universal Process controller is a highly versatile, **single loop controller** designed to be exceptionally easy to operate and set up.

Universal input and **integral transmitter power supply** ensure that the COMMANDER 100 has the capabilities to measure a wide range of process signals such as temperature, pressure, flow and level.

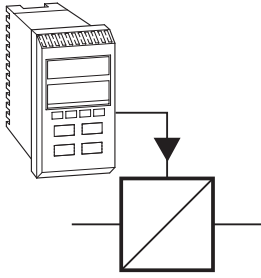
Analog, logic and relay control outputs are all fitted as standard, with the option to add further i/o capabilities such as additional relays, remote set point and digital input, to suit your application.

The **configuration** of the COMMANDER 100 is simply achieved by moving the security switch and entering a simple code from the front panel keys. No passwords, no input links, no complications.

With **hoseproof front panel protection** and superior RF immunity as standard the COMMANDER 100 has been designed to control reliably in the harshest of today's industrial environments.



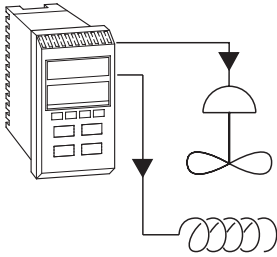
KEY: Standard Option



PID Control

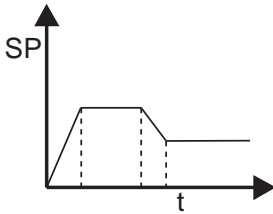
Simple PID control is available using any of the unit's three built-in outputs.

- 4 – 20mA analog
- Logic 18V time proportioning (to drive solid state relays)
- 5A relay for Time proportioning or On/Off control



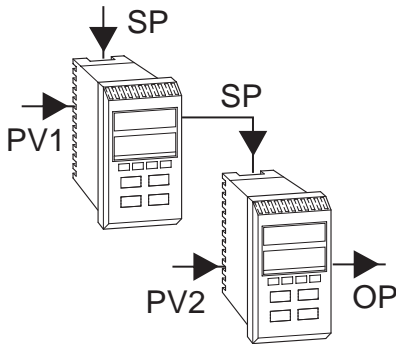
Heat/Cool

Heat/Cool control strategies may be implemented on the standard COMMANDER 100, using a combination of the analog, logic and relay outputs.



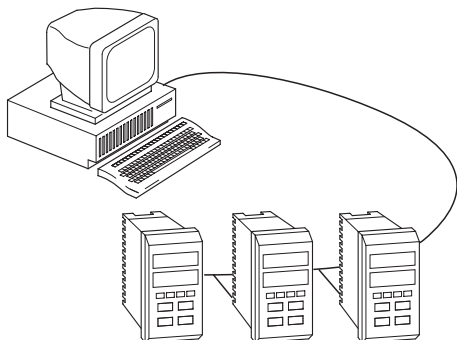
Ramp/Soak Set Point Profiles

The ramp/soak facility available on every COMMANDER 100 provides for a single program, four-segment profile. This facility also includes guaranteed ramp/soak, repeat program, skip and reset.



Master/Slave and Cascade

Two or more COMMANDER 100s can be used in master/slave, or cascade, configuration with the addition of the remote set point option to the basic unit.



RS485/MODBUS

Fitted with an optional RS485 serial communication board, the COMMANDER 100 can communicate with PLCs and SCADA systems using the MODBUS protocol.

Specification

Summary

P, PI, PID single loop controller

Autotune facility

Fully user configurable

Hoseproof front face

Operation

Display

High-intensity 7-segment, 2 x 4-digit LED display
Display range –999 to +9999
Display resolution ±1 digit
Display height 10mm (0.39inches)

Configuration

User defined via front panel or PC Configurator

Standard Functions

Control types

Programmable for manual, on/off, time proportioning, current proportioning and heat/cool control.

Set points

Local
Remote
4 selectable fixed value
Ramping set point

Profile controller

Number 4 ramp/soak segments
Features Guaranteed ramp/soak, self seeking set point, program repeat
Controls Run, hold and stop from front panel switches
Run/hold or run/stop from digital input

Alarms

Number Two user-defined
Type High/low process
High/low deviation
Loop break alarm

Outputs

Control output/retransmission

Analog, configurable in the range of 4 to 20mA
Max. load 15V (750Ω at 20mA)
Accuracy ≤ 0.25% of span
Dielectric 500V d.c. from i/p (not isolated from logic o/p)

Logic output

18V d.c. at 20mA
Min. load 400Ω
Dielectric 500V d.c. from i/p (not isolated from control o/p)

Relay output

One relay as standard (SPDT) – 5A @ 115/230V a.c.

Analog Inputs

Number

One as standard
One optional – 4 to 20mA remote set point input

Input sampling rate

250ms per channel

Type

Universally configurable to provide (Channel 1 only):
Thermocouple (THC)
Resistance Thermometer (RTD)
Millivolt
Current
D.C. voltage

Input impedance

mA 100Ω
mV, V >10MΩ

Linearizer functions

Programmable for standard inputs:
SqRoot, THC types B, E, J, K, N, R, S, T or Pt100

Broken sensor protection

Upscale drive on THC and RTD
Downscale drive on milliamps and voltage

Cold junction compensation

Automatic CJC incorporated as standard
Stability – < 0.05°C/°C change in ambient temperature

Input protection

Common mode isolation >120dB at 50/60Hz with 300Ω imbalance
Series mode rejection > 60dB 50/60Hz

Transmitter power supply

24V, 30mA max. powers one 2-wire transmitter

Options

One option board can be installed from:

Type 1 – One relay
Type 2 – Two relays + one digital input + remote set point
Type 3 – One relay + one digital input + remote set point
+ MODBUS serial communications

Relay output

SPDT – 5A @ 115/230V a.c.

Digital input

Type – Volt-free
Minimum pulse – 250ms
(not isolated from remote set point)

MODBUS serial communications

Connections – RS422/485, 2 or 4-wire
Speed – 2.4k or 9.6k baud rate
Protocol – MODBUS RTU slave

Remote Set Point Input

4 to 20 mA d.c., 100Ω nominal input impedance
Preset to process variable engineering units
(not isolated from digital inputs)

Standard Analog Input Ranges

Thermocouple	Maximum Range °C	Maximum Range °F	Accuracy (% of reading)
B	-18 to 1800	0 to 3270	0.25% or ±2°C (above 200°C)
E	-100 to 900	-140 to 1650	0.25% or ±0.5°C
J	-100 to 900	-140 to 1650	0.25% or ±0.5°C
K	-100 to 1300	-140 to 2350	0.25% or ±0.5°C
N	-200 to 1300	-325 to 2350	0.25% or ±0.5°C
R	-18 to 1700	0 to 3000	0.25% or ±1.0°C (above 300°C)
S	-18 to 1700	0 to 3000	0.25% or ±0.5°C (above 200°C)
T	-250 to 300	-400 to 550	0.25% or ±0.5°C

RTD	Maximum Range °C	Maximum Range °F	Accuracy (% of reading)
PT100	-200 to 600	-325 to 1100	0.25% or ±0.5°C

Linear Inputs	Range	Accuracy (% of reading)
Milliamps	0 to 20	0.25% or ±2μA
Milliamps	4 to 20	0.25% or ±2μA
Volts	0 to 5	0.25% or ±200μV
Volts	1 to 5	0.25% or ±200μV
Millivolts	0 to 50	0.25% or ±20μV

Square Root Input	Range	Accuracy (% of reading)
Milliamps	4 to 20	0.25% or ±2μA

Notes.

Performance accuracy is not guaranteed at extreme low end of thermocouple and sq. root ranges.

RTD, 3-wire platinum, 100Ω per DIN 43760 standard (IEC751), with range of 0 to 400Ω.

Min. span below zero Type T 70°C/126°F

Type N 105°C/189°F

THC standards

DIN 43710 IEC 584

RTD standards

DIN 43760 IEC 751

Physical

Size

48 wide x 96 high x 125mm (1.89" wide x 3.78" high x 4.92")

Weight

250g (0.5lb) approximate

Electrical

Voltage

85 to 265V a.c. (50/60Hz)

24V d.c.

Power consumption

< 6VA

Environmental

Operating limits

0 to 55°C (32 to 131°F)

5 to 95%RH non-condensing

Temperature stability

< 0.02% of reading or 2μV/°C (1μV/°F)

Front face

IP65 (NEMA3), case rear IP20

EMC

Emissions

Meets requirements of EN50081-2

Immunity

Meets requirements of EN50082-2

Design and manufacturing standards

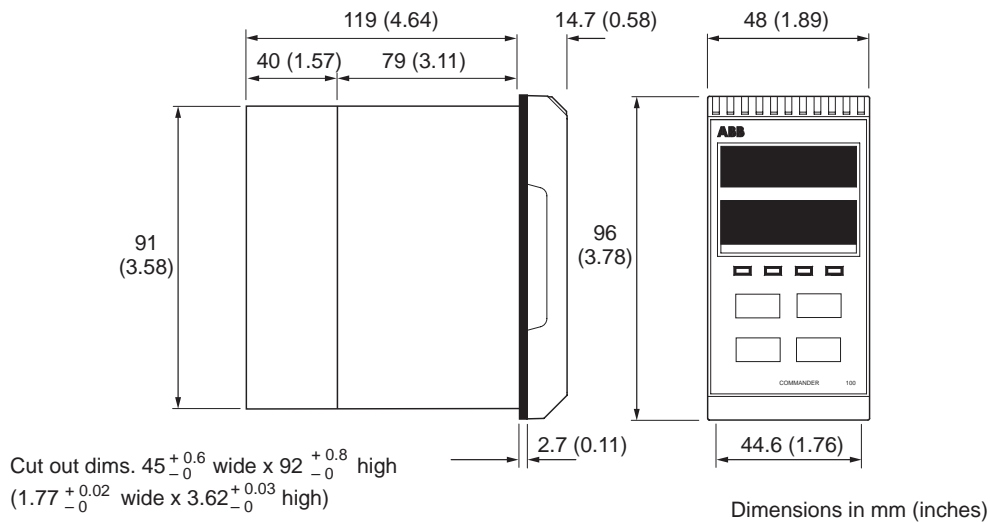
Designed to meet CSA requirements

CE Mark

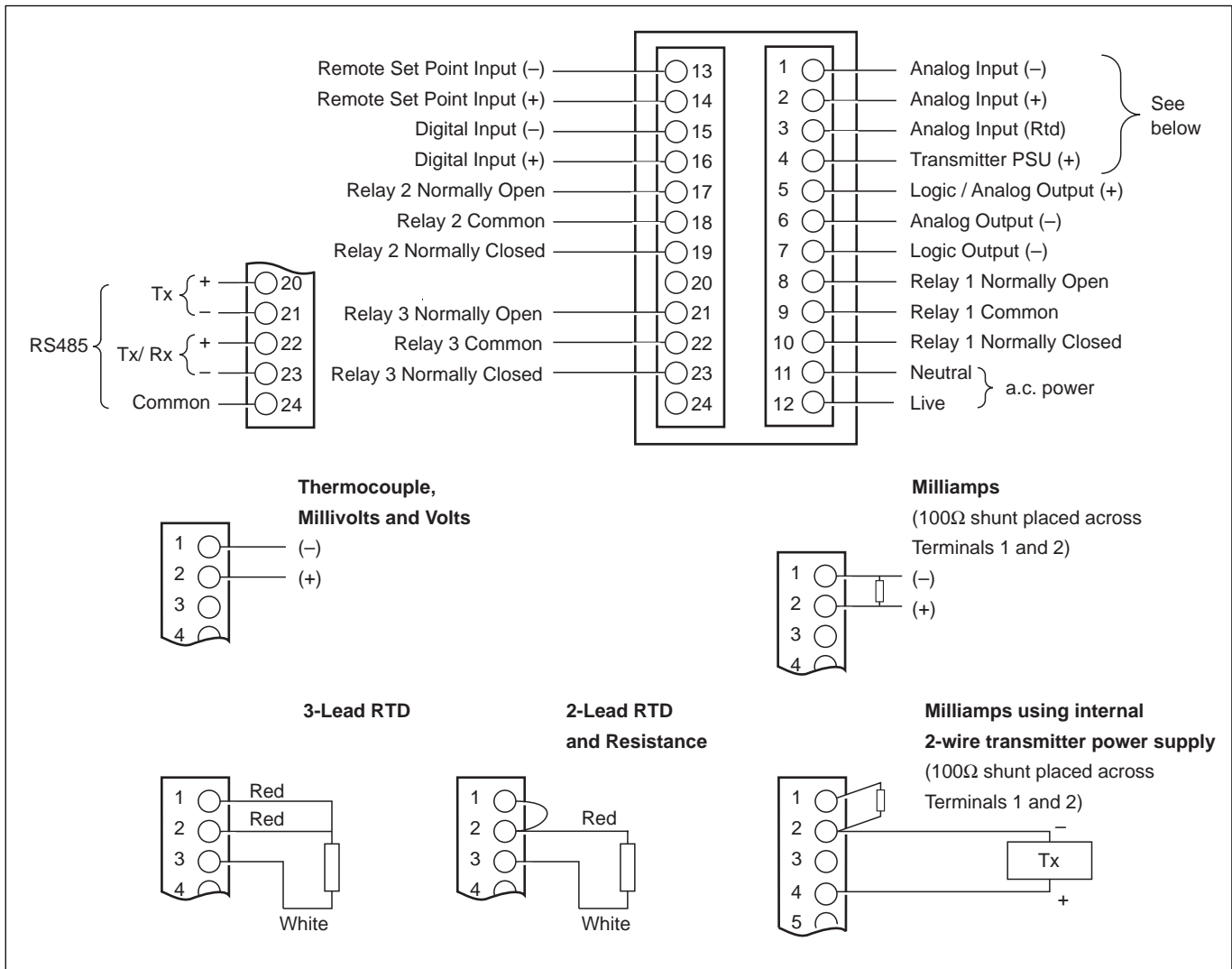
Electrical safety

IEC 348

Dimensions



Wiring Connections



Ordering Guide

COMMANDER 100 Controller		C100 /	X X	X	X /	X X X X
Option Board	- None		0 0			
	- One additional relay		0 1			
	- Two additional relays + one digital input + remote set point 4–20mA		0 2			
	- One additional relay + one digital input +remote set point +RS485/MODBUS		0 3			
Power Supply	85V to 265V a.c.			0		
	24V d.c.			1		
Build	Kent-Taylor Standard				0	
	CSA approval (pending)				1	
	UL approval (pending)				2	
Progammng/Special Features	Configured to factory standard					S T D
	Configured to customer detail					C U S
	Agreed special features					S P X X

Instrument Coding Example

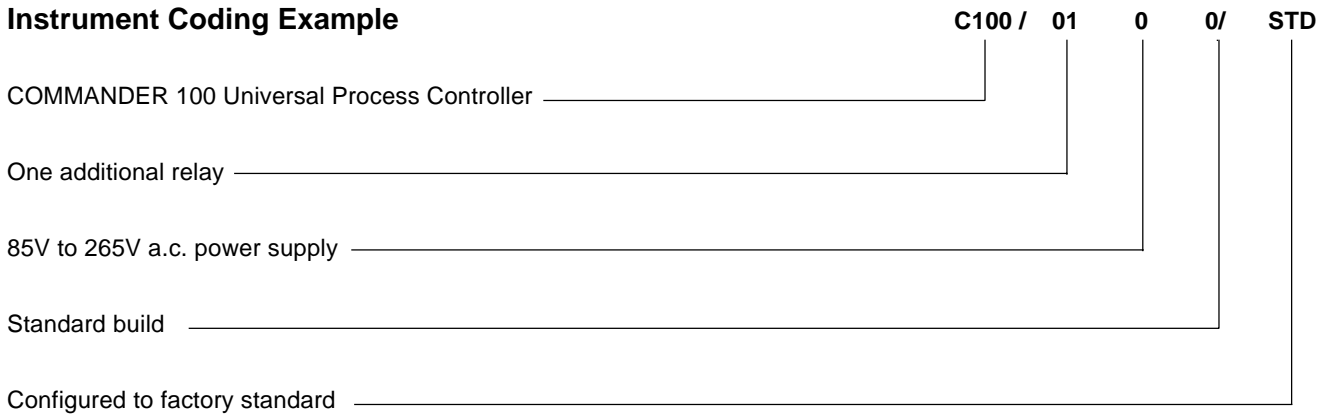




ABB Instrumentation Ltd
St. Neots
Cambs.
England, PE19 3EU
Tel: +44 (0) 1480 475321
Fax: +44 (0) 1480 217948

ABB Automation Inc
Instrumentation Division
PO Box 20550, Rochester
New York 14602-0550 USA
Tel: +1 716 292 6050
Fax: +1 716 273 6207

ABB Instrumentation
22016 Lenno
Como
Italy
Tel: +39 (0) 344 58111
Fax: +39 (0) 344 56278

The Company's policy is one of continuous product improvement and the right is reserved to modify the information contained herein without notice.

© ABB 1999

(6.99)

Specification DataFile

- **High visibility dual 4-digit display**
 - shows set point and process variable

- **Standard relay or logic control output**
 - simple time proportioning or on/off control

- **Optional alarm relay**
 - additional relay to give hi/lo process alarm

- **Universal process input**
 - direct connection for any process signal

- **IP65 (NEMA3) protection and full noise immunity**
 - reliability in the harshest environments

- **One-shot autotune**
 - automatic setting of optimum PID values



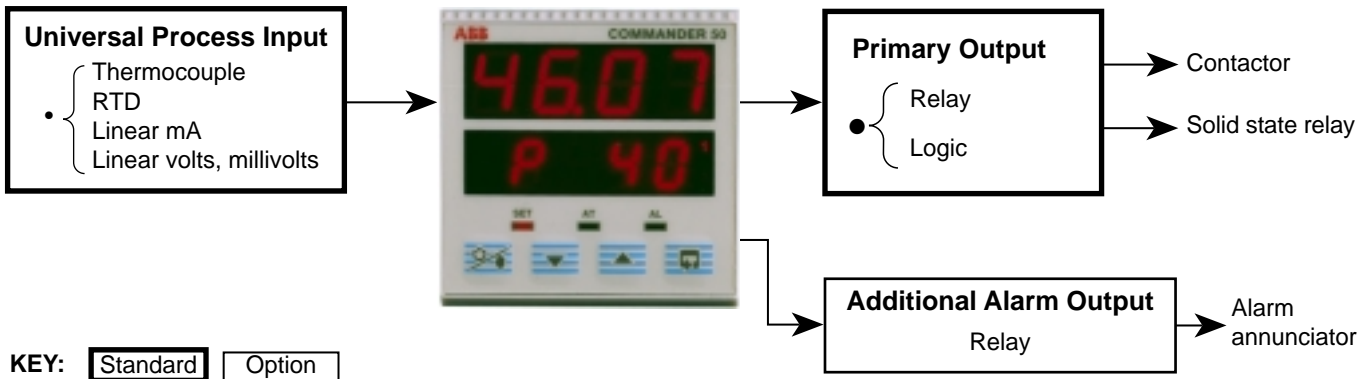
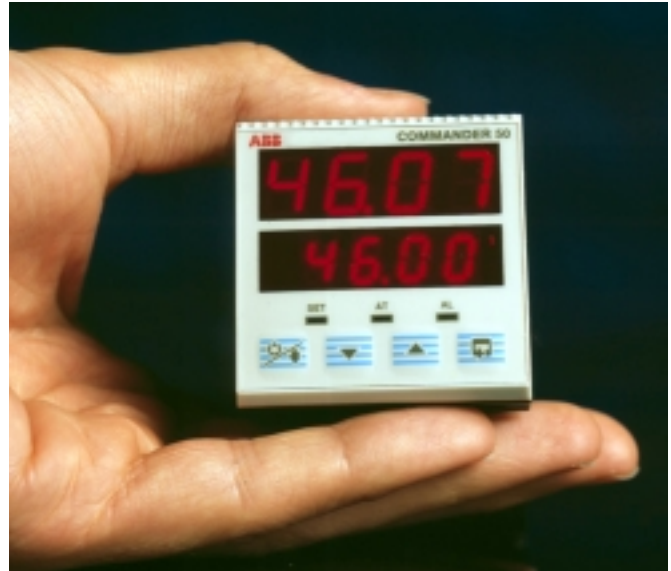
*COMMANDER 50 –
the $\frac{1}{16}$ DIN controller to suit
your simplest applications*

COMMANDER 50

The COMMANDER 50 Controller/Alarm unit is a compact **single loop controller**, with the capability to measure, indicate and control a variety of process variables.

The unit is ideal for simple PID control, offering On/Off or Time proportioning control with a one shot self-tune facility. The COMMANDER 50 can also act as an **independent alarm unit**, for example, as an over-temperature safety cutout unit for furnaces or ovens.

The unit is quickly set up for most process signal inputs and, with IP65 (NEMA3) front panel protection, is suitable for a wide range of applications.



PID Control

The unit's primary relay or logic output can provide a time proportioning PID output, for control of contactors and solid state relays (SSR).

Override Alarm

By configuring the relay output as an overrange alarm, the COMMANDER 50 can act as an independent alarm unit, providing protection for your process.

Ramping Set Point

To reduce shock to the process when changing set point, the COMMANDER 50 can be configured to ramp up to the new set point over a preset period of time.

SPECIFICATION

Summary

PID single loop controller/alarm unit
Autotune Facility
Fully User Configurable
IP65 (NEMA3) Front Face

Operation

Display:

High intensity 7-segment, 2 x 4 red LED display.
Size – upper 10mm (0.39inches)
lower 8mm (0.31inches)

Configuration

User defined via front panel and internal links.

Analog Inputs

Single universal process input.

Type

Universally Configurable for:
Thermocouple (THC)
Resistance Thermometer (RTD)
Linear Millivolt
Linear Current
Linear D.C. voltage

Input Sampling Rate

1 sample/250ms

Input impedance:

Millivolts/THC/RTD >100MΩ
Volts > 47KΩ
Current < 4.7Ω

Linearizer functions

Automatic linearisation of THC types B, J, K, R, S, T, L, N and RTD Pt100

Broken Sensor protection

For the following options, break detected within two seconds and control outputs DOWN scale to OFF (0% power):
THC, RTD, DC mV, DC Volts (1 – 5V and 2 – 10V), DC mA (4 – 20mA).

Cold junction compensation:

Automatic CJC incorporated as standard.

Input noise rejection

Common mode rejection: >120dB at 50/60Hz with balanced lead.
Series mode rejection: >500% of span at 50/60Hz.

Accuracy

Measurement error: < ± 0.25% of span ± 1LSD
Linearizer: Typically ±0.2 °C
Display range: –1999 to +9999
CJC accuracy: < ± 0.05 °C /°C change in ambient temperature

Outputs

Primary output (fitted as standard)

User configurable as either:
Relay:

SPDT 2A 120/240Vac
– or –

TTL Logic (SSR Drive):

Digital >4.2Vd.c. for
Min load: 1k
Not isolated from input

Output functions

User configurable as either:
On/Off control output
Time proportioning PID control output

Option

Second relay output, configurable for alarms, meets the specification of the standard relay output.

Electrical

Voltage:

90-264 V a.c. 50/60 Hz

Power consumption:

< 4VA

Environmental

Operating limits

0 to 55 °C (32 to 131°F)
20 to 95% RH non-condensing.

Temperature stability

< 0.01% of span /°C change in ambient temperature

Housing dust/water protection

Front face: IP65/NEMA3
Rear Case: IP20

RF protection

Susceptibility: EN50082-2:1992
Emissions: prEN50081-2:1994

Design and manufacturing standards

CE Mark

Electrical Input Ranges

Input Type	Min. Value	Max. Value	Min. Value	Max. Value
mV	0	50	10	50
V	0	5	1	5
V	0	10	2	10
mA	0	20	4	20

Temperature Limits

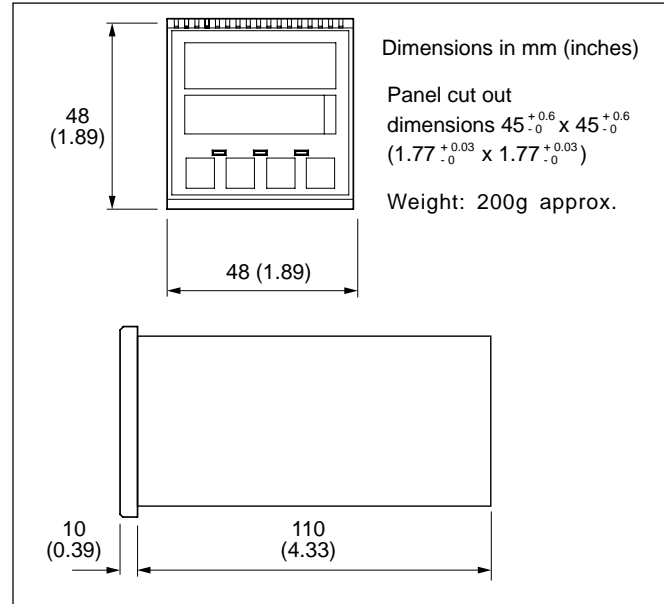
THC Type Per NBS125 & IEC584	°C		°F	
	Min.	Max.	Min.	Max.
Type R	0	1650	32	3002
Type S	0	1649	32	3000
Type J	0	205.4	32	401.7
	0	450	32	842
Type T	0	761	32	1401
	-200	262	-328	503
Type K	0	260.6	32	501
	-200	760	-328	1399
Type L	-200	1373	-328	2503
	0	205.7	32	402.2
Type B	0	450	32	841
	0	762	32	1403
Type N	100	1842	211	3315
Type RTD per DIN 43760 & IEC751	0	1399	32	2550
	0	800	32.0	1471
Type RTD per DIN 43760 & IEC751	-100.9	100	-149.7	211.9
	-200	206	-328	402
	-100.9	537.3	-149.7	999
	0	100.9	32	213.6
	0	300	32	571
	0	800	32.0	1471

Note.

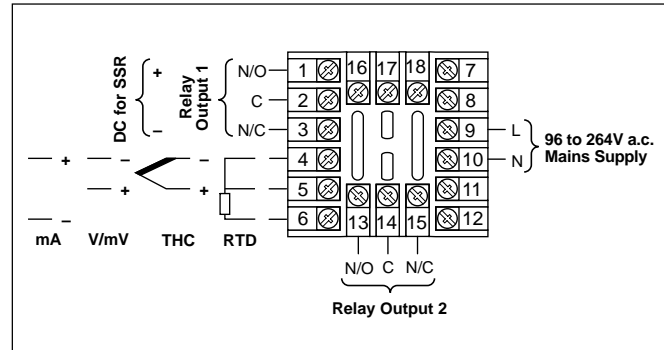
Performance accuracy is not guaranteed below 600°C (112°F) for types B, R and S thermocouples.

RTD, 3-wire platinum, 100Ω with range of 0 to 400Ω.

Dimensions



Wiring Connections



Ordering Guide

COMMANDER 50 Controller/Alarm unit		C50	X	X	X	X	X	X	X
Language (for manuals only)	English French German		K F D						
Input Types	Universal			2					
Output 1	Relay/Logic				1				
Output 2	None 1 Relay					0 1			
Special Features	None						0	0	0



The Company's policy is one of continuous product improvement and the right is reserved to modify the information contained herein without notice.

© ABB 1998

Printed in UK (10.98)

ABB Instrumentation Ltd

Howard Road
St. Neots, Cambs.
England, PE19 3EU
Tel: +44 (0)1480-475-321
Fax: +44 (0)1480-217-948

ABB Automation Inc

Instrumentation Division
125 E. County Line Road
Warminster, PA 18974 USA
Tel: +1 215-674-6000
Fax: +1 215-674-7183

ABB Instrumentation

22016 Lenno
Como
Italy
Tel: +39 (0)344-58111
Fax: +39 (0)344-58278



MODEL STD 5131 and 5141

BRANDT I/P TRANSDUCER



The Brandt Series STD 5000 is a current-to-pneumatic (I/P) transducer for use in intrinsically safe installations. Using a "Patented Solid State" design, the STD 5000 converts an electronic signal into a proportional pneumatic signal. With its internal feedback network, the STD 5000 responds quickly to step input changes.

FEATURES

- Vibration resistant.
- Low air consumption.
- Mount in any position.
- Intrinsically safe capability.
- Balanced supply & exhaust dynamics.

SPECIFICATIONS

Input Signal: 4-20 mA.

Output Pressure: STD 5131- 3-15 psig (.21-1.03 barg).
STD 5141- 1-17 psig (.07-1.17 barg).

Accuracy: ± 0.15% of span.

Repeatability: ± 0.05% of span.

Deadband: ± 0.02% of span.

Vibration Effect: < 0.25% from 1-200 Hz/1g.

Loop Load: 3.8 Vdc +5 ohms (195 ohm load at 20 mA).

Supply Pressure: STD 5131; 20 psig (1.4 Barg).
STD 5141; 35 psig (2.4 Barg).

Electrical Classification: **USA-Factory Mutual - FM**
Enclosure: NEMA 4X, Hazardous Outdoors Locations, weatherproof.
Explosion Protection: Intrinsically

Electrical Classification (continued): safe, when installed with FM approved and properly rated safety barriers (not provided).

Approvals: 4-20 mA input ONLY. Class I, II and III, Div. 1, Applicable Groups A, B, C, D, E, F and G. Class I, Div. 2, Groups A, B, C and D, non-incendive. Class II, Div. 2, Groups F and G. Class III, Div. 2.

Canada-Canadian Stds. Assoc.-CSA

Enclosure: Enc 4.

Explosion Protection: Intrinsically safe, when installed with CSA approved and properly rated safety barriers (not provided).

Approvals: Class I, Groups A, B, C and D, Temp Code T3. Class II, Groups E, F and G.

Output Capacity: 4.0 SCFM (7 SM³/Hr supply and exhaust characteristics are balanced to within ± 10%.

Air Consumption: 0.04 SCFM (0.07 SM³/Hr) Steady State Average, 0.06 SCFM (0.10 SM³/Hr) Maximum.

Operating Temperature: -20°to+150°F (-29°to+66°C).

Temperature Effect: < 1% per 100°F (55°C) change.

Failure Mode: Transducer always fails to the direct mode, i.e. if input current drops below 3.7 mA dc, the out-

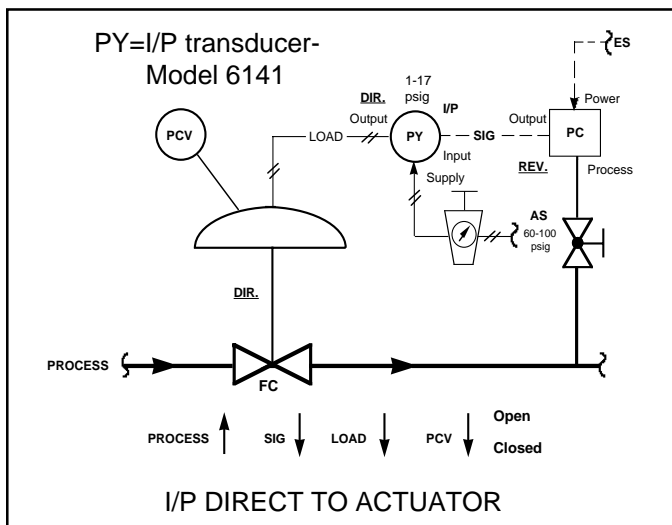
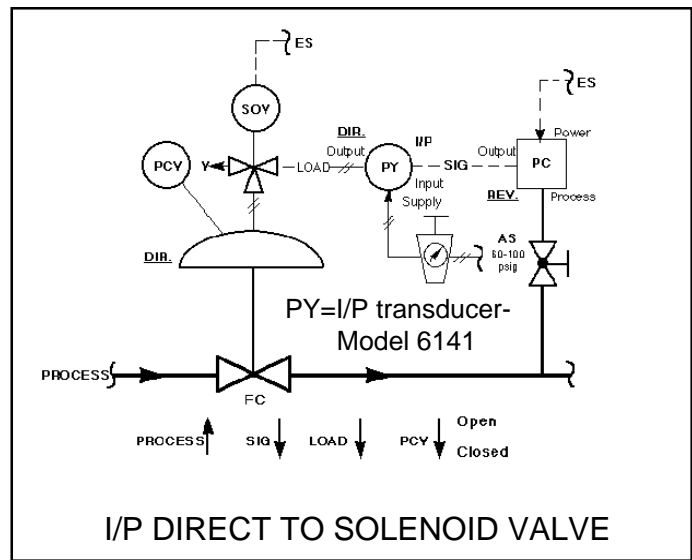
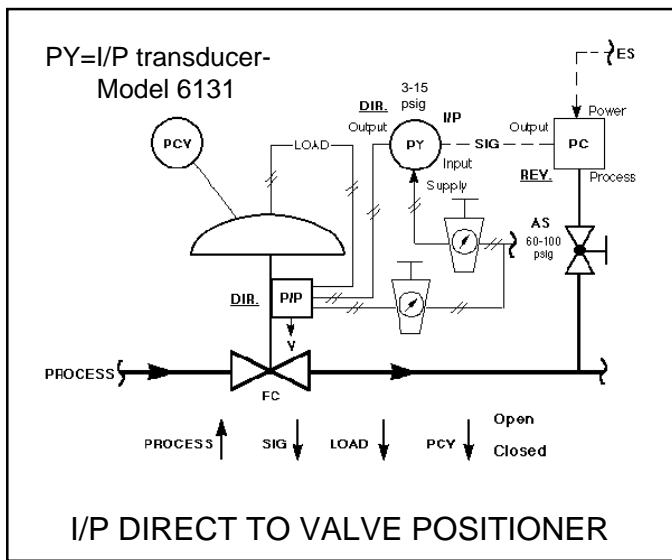
Failure Mode (continued): put will drop to 1-2 psig (.07-.14 Barg) for 3-15 psig output, to 0.5-1 psig (.003-.07 Barg) for 1-17 psig output regardless of direct or reverse mode selection.

Connections: Pneumatic-1/4" NPT, Supply and Output.
Electrical- 1/2" conduit connection.

Materials: Enclosure cap and body- aluminum.

Painting: Chromate primer, powder coat epoxy final finish.

TYPICAL PIPING SCHEMATICS FOR CONTROL VALVE WITH I/P TRANSDUCER



Rotary valve tight shutoff could be compromised with this arrangement. Because of pressure from the transducer, the control valve's actuator pressure is not able to be fully unloaded. Consider using a valve positioner or a solenoid valve if tight shutoff is required.

Reference IPTDP-TB technical bulletin for maximum pressure drop capability of the control valve installed in conjunction with the I/P transducer.

A portion of the mA "SIG" will be lost as the control valve's bench set range is overcome.

NOTE: Use "99" Product Coder to specify model and mounting.



MODEL 988

Pneumatic Control Valve for General and Chemical Service



Model 988
1" – Body Size
CF3M Body – 300# Flanged
Model 55R Actuator
(ATO-FC Action)
"Long Pattern"

The Model 988 is a globe-style, pneumatic control valve designed primarily for general and chemical service. The valve's body/trim materials are available in WCB/316L SST, CF3M/316L SST, or CW-12MW/Hast. C constructions.

Standard trim is metal seated design giving Class IV shutoff. Optional composition seat design gives Class VI shutoff. Available in body sizes 3/4" thru 2" (DN20–DN50). End connections available are NPT, socketweld or flanged.

FEATURES

- All wetted trim components of 316L SST or Hastelloy C.
- Standard non-asbestos construction.
- Dual stem guiding...
 - improved shutoff,
 - increased packing life,
 - maximized stability.
- Standard internally live-loaded V-ring packing.
- Multiple packing designs to meet reduced **fugitive emission** levels.
- Flow-to-open design for increased...
 - rangeability,
 - stability.
- Quick change trim.
- High pressure drop capability, up to 740 psid (51.0 Bard).
- Multiple reduced trim selections.
- Equal percent or linear characterization.
- External corrosion protection.
- Face-to-Face dimensions per ISA S75.20 ("Long Pattern").

APPLICATIONS

Designed primarily for corrosive chemical fluids in throttling services. May also be applied as a general service control valve for utilities services – steam, air, oil, water, industrial gases, etc. The minimum seat/plug/stem material is 316L SST to maximize corrosion resistance. May be applied up to 740 psig (51 Barg) pressure limit, or 450°F (232°C) temperature limit as a standard unit; up to 750°F (400°C) with optional high temperature construction.

STANDARD / GENERAL SPECIFICATIONS

Body Sizes: 3/4", 1", 1-1/2" and 2".
(DN20, 25, 40, and 50).

Body Pressure Temperature Rating: Meets ANSI B16.34 for 150# or 300# Pressure Classes for cast carbon steel (CS), cast stainless steel (SST). See Table 1.

Max. Inlet Pressure: CS – Up to 740 psig (51.0 Barg).
SST – Up to 720 psig (49.6 Barg).
H-C – Up to 740 psig (51.0 Barg).

Working Temperature Range: Standard, all materials: -20°F to +450°F (-29°C to +232°C).
Optional, all materials: -20°F to +750°F (-29°C to +400°C).

End Connections: **Female NPT** – All sizes; CS and SST materials only. F-to-F dimensions per ISA S75.12-1986.
Socket Weld – All sizes; CS and SST body materials only. F-to-F dimensions per ISA S75.12-1986.
Flanged – All sizes and body materials. Separable Type; standard is CS flanges and CS split rings, optional SST.
150# RF and 300# RF: Mating dimensions in accordance with ANSI B16.5. F-to-F dimensions per ISA S75.20-1989. PN16, PN25 and PN40: Standard ANSI raised facing dimensions on body. Mating bolt circle and bolt hole dimensions in accordance with ISO 7005-1. See Figure 9.

Max. Pressure Drop: **Metal Seated** – Up to 600 psid (41.4 Bard) for Full, 1-Step and 2-Step reduced ports. Up to 740 psid (51.0 Bard) for 3-Step, 4-Step, 5-Step and 6-Step reduced ports. **TFE Soft Seated** – Up to 400 psid (27.6 Bard). See Tables 2 thru 5.

Seat Leakage: Meets ANSI/FCI 70-2 (Rev. 1982). Standard – Metal Seated – Class IV. Optional – TFE Soft Seated – Class VI, with metal-to-metal backup.

Flow Direction: Standard: Flow-to-Open (FTO). Minimizes packing sealing pressure level. (Not recommended for Flow-to-Close direction.)

Inherent Flow Characteristic: Equal Percent or Linear; FTO direction only.

Rangeability:

Body Size inch (mm)	Port Size			
	Reduced			FULL
	3, 4, 5, & 6-Step	2-Step	1-Step	
3/4" (DN20)	25:1	35:1	47.5:1	45:1
1" (DN25)	25:1	35:1	50:1	
1-1/2" (DN40)	–	–	50:1	
2" (DN50)	–	–	50:1	

Flow Capacity: Per ISA 75.11 Standard. See Tables 7 and 8.

Body inch (mm)	Port - Orifice		Cv Max.	
	Description	Size inch (mm)	=%	Lin.
3/4" (DN20)	Full	.750 (19.0)	10.7	11.6
	1-Step Reduced	.562 (14.3)	6.7	7.1
1" (DN25)	Full	.750" (19.0)	11.8	12.7
	1-Step Reduced	.562" (14.3)	7.0	7.5
3/4" & 1" (DN20, 25)	2-Step Reduced	.562" (14.3)	4.1	4.3
	3-Step Reduced	.332" (8.4)	2.5	2.6
	4-Step Reduced	.205" (5.2)	–	1.1
	5-Step Reduced	.155" (3.9)	–	0.58
	6-Step Reduced	.155" (3.9)	–	0.27
1-1/2" (DN40)	Full	1.250" (31.8)	26	27
	Reduced	.750" (19.0)	10.4	10.8
2" (DN50)	Full	1.688" (42.9)	47	50
	Reduced	1.000" (25.4)	18.2	19.4

Actuators: Spring-Diaphragm Type. Select "direct" or "reverse" action; non-field reversible.

Action	Model	Body Sizes Utilized Upon inch (mm)
Direct; ATC-FO (Increase in air "LOAD" extends actuator stem.)	55D	3/4", 1", 1-1/2" (DN20, 25, 40)
	75D	1-1/2", 2" (DN40, 50)
	115D	2" (DN50)
Reverse; ATO-FC (Increase in air "LOAD" retracts actuator stem.)	55R	3/4", 1", 1-1/2" (DN20, 25, 40)
	75R	1-1/2", 2" (DN40, 50)
	115R	2" (DN50)

ATC-FO = Air-to-Close, Fail Open;
ATO-FC = Air-to-Open, Fail Close.

See Tables 2 thru 5 for proper selection of required bench setting range spring and Model number.

Painting: Standard – All non SST portions painted with corrosion resistant epoxy paint per Cashco Specification #S-1606 except tubing and fittings.
Optional – 2-coat epoxy coating per Cashco Specification #S-1547.

BODY SUB-ASSEMBLY SPECIFICATIONS

Body/Bonnet Materials: CS – ASTM A216, Gr. WCB.
SST – ASTM A351, Gr. CF3M (316L).
H-C – ASTM A494, Gr. CW-12MW (Similar to “Hasteloy C”).

Separable Flange Materials: Standard: All body materials;
Flanges – CS per ASTM A216, Gr. WCB, or equal;
Split Rings – CS.
Optional: SST or H-C body materials;
Flanges – SST per ASTM A351, Gr. CF3M, or equal;
Split Rings – 316 SST.
Optional: All body materials;
Flanges – CS per above;
Split Rings – 316 SST.

Trim: Function of packing design and body material.

Seat Design	Trim Designation #	Body Materials	Basic Trim Description
Metal	S1S, S1R, S1SE, S1RE	CS or SST	316L SST
	S40, S40E	CS or SST	NACE
	S1HT	CS or SST	High Temp
	HC1, HC1E	CS, SST or H-C	H-C
Composition Soft	S3S, S3R, S3SE, S3RE	CS or SST	316L SST/TFE
	S40T, S40TE	CS or SST	NACE/TFE
	HC3, HC3E	CS, SST or H-C	H-C/TFE

See Table 6 for complete trim material specifications.

Gaskets: Standard – Non-asbestos, Spiral-Wound Type ;
CS or SST Body – 316L SST with carbon filler,
H-C Body – Hasteloy C with carbon filler.

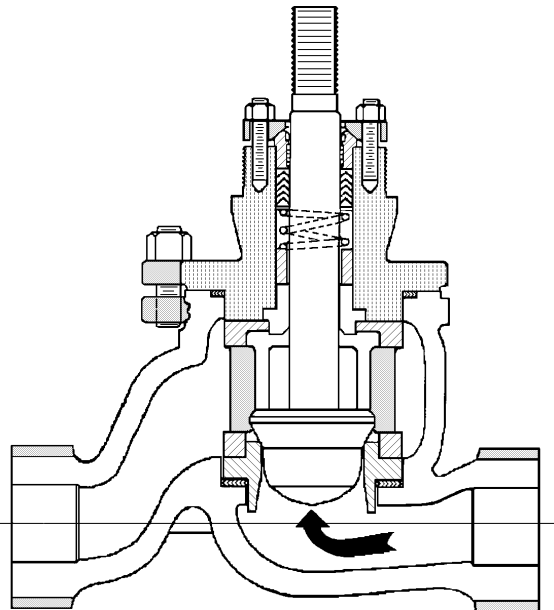


FIGURE 1

Body Sub-Assembly Internal Design – Metal Seated with Internal Live-Loading

Stem Size: 0.625" (15.9mm) diameter, all body sizes.

Plug Travel:

Body Size inch (mm)	Travel/Stroke inch (mm)
3/4", 1", & 1-1/2" (DN20, 25, 40)	.750" (19.0)
2" (DN50)	1.125" (28.6)

Bonnet Bolting:

Zinc plated alloy steel.
CS Body/Bonnet: All standard and optional constructions.
Studs: ASTM A193, Gr. B7;
Nuts: ASTM A194, Gr. 2H.
SST or H-C Body/Bonnet: Std. construction and Opt-40 (NACE) Construction.
Studs: ASTM A193, Gr. B7;
Nuts: ASTM A194, Gr. 2H.
SST Body/Bonnet: Opt-35 High Temperature Construction (no plating).
Studs: ASTM A193, Gr. B8M, Cl. 2;
Nuts: ASTM A194, Gr. 8M-S1.

Packing Apparatus:

Std – Internal Live-Loaded & Jammed:
Flange – 316 SST;
Follower & Upper Guide – per Trim Designation Number.
Optional – External Live-Loaded:
Retainers – 316 SST;
Spacer – 316 SST;
Follower & Upper Guide – per Trim Designation Number;
Belleville Washers – 17-7PH SST.
All Designs – Bolting:
CS Body – All constructions;
Studs – 18-8 SST,
Nuts – 18-8 SST.
SST or H-C Body – All constructions except Opt-35;
Studs – 18-8 SST,
Nuts – 18-8 SST.
SST Body – Opt-35 High Temperature Construction;
Studs – ASTM A193, Gr. B8M, Cl. 2;
Nuts – ASTM A194, Gr. 8M-S1.

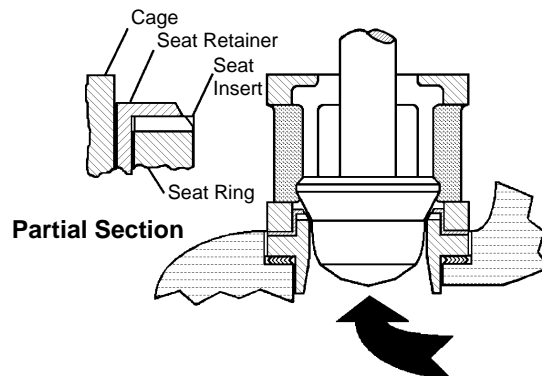


FIGURE 2

Composition Soft Seat Design

Packing:

All packing ring sets are complete with upper and lower non-extrusion adapters.

Live-Loaded (LL): (See Figure 3.)

Standard: Internal LL, virgin TFE V-ring.

Opt-EXT: External LL, virgin TFE V-ring.

Opt-HTE: External LL, carbon graphite rings.

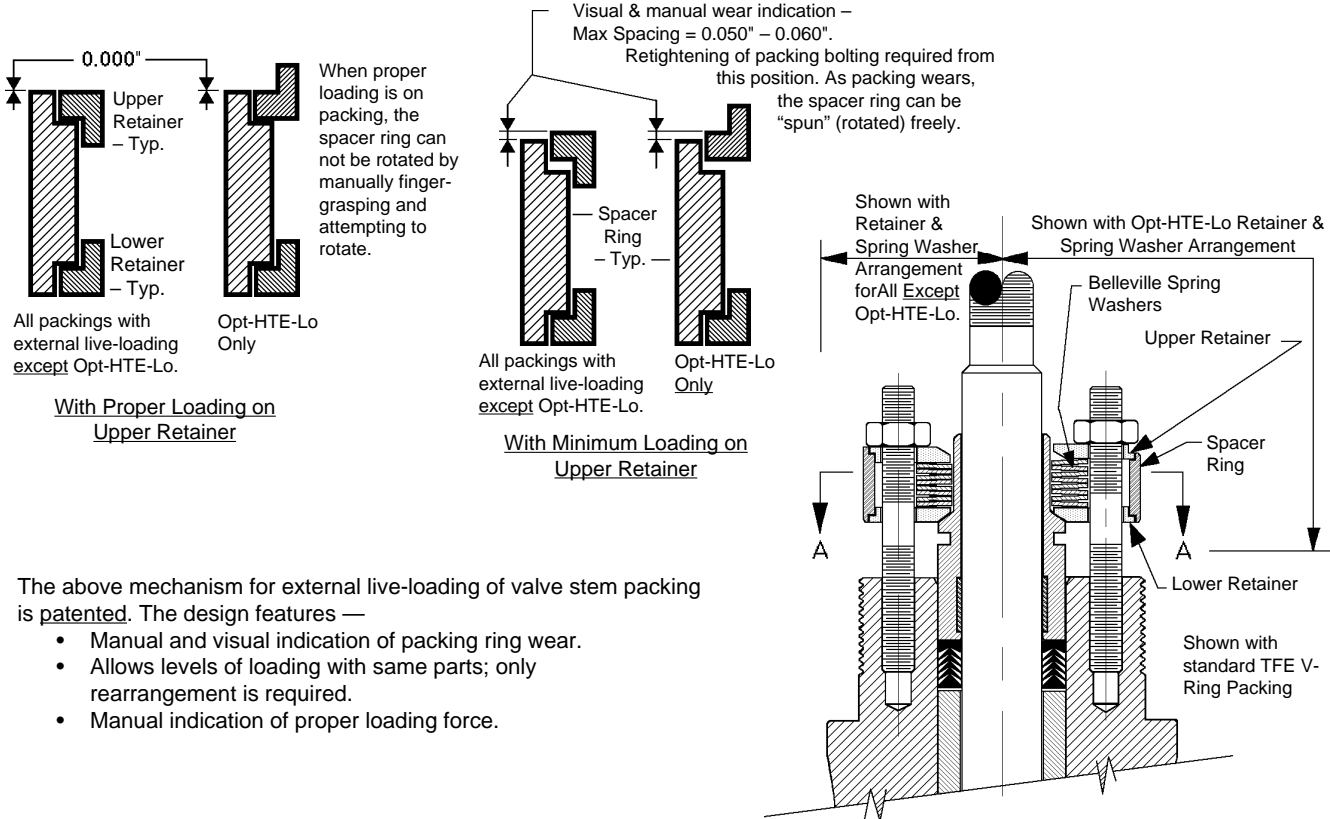
Opt-KRI: Internal LL, DuPont Kalrez/TFE rings with CRCC adapters.

Opt-KRE: Same as 'KRI', except external LL.

Jammed (Non-LL): (See "Option Specifications").

Opt-34: Dual packing, TFE V-ring, lantern ring spacer; 3 variations.

Opt-38J: Virgin TFE V-ring, dead-loaded.



The above mechanism for external live-loading of valve stem packing is patented. The design features —

- Manual and visual indication of packing ring wear.
- Allows levels of loading with same parts; only rearrangement is required.
- Manual indication of proper loading force.

ACTUATOR SUB-ASSEMBLY SPECIFICATIONS

(Continued on page 5)

Size, Stroke & Volumes:

Basic Actuator Model	Diaphragm Area in ² (cm ²)	Nominal Stroke in (mm)	Volumes	
			Clearance in ³ (cm ³)	Displacement in ³ (cm ³)
55D	50 (325)	.750" (19.0)	26 (400)	37 (600)
55R			41 (700)	
75D or 75R	75 (475)	.750" (19.0)	75 (1200)	55 (900)
		1.125" (28.6)	75 (1200)	85 (1400)
115D	110 (700)	1.125" (28.6)	76 (1200)	131 (2100)
115R			84 (1400)	

Ambient Temperature: -20° to +180°F (-28° to +83°C).
-20° to +140°F (-29° to +60°C) with electrical accessories.

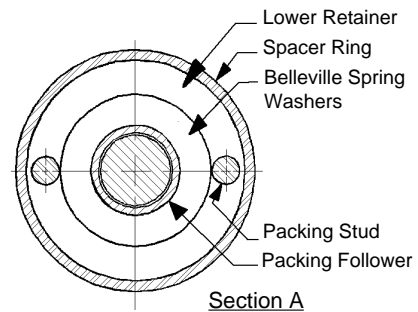


FIGURE 3
External Live-Loaded Packing Details

Bench Set & Max/Normal Pressures:

Bench Set psig (Barg)	Air Pressures	
	Normal Supply psig (Barg)	Design Max. psig (Barg)
5-15 (.34-1.03) 3-13 (.21-.90)	20 (1.4)	25 (1.7)
10-30 (.69-2.07) 6-26 (.41-1.79) 7-30 (.48-2.07) 6-29 (.41-2.00) 8-30 (.55-2.07) 6-28 (.41-1.93) 9-30 (.62-2.07) 6-27 (.41-1.86) 6-30 (.41-2.07)	35 (2.4)	40 (2.8)

NOTE: No range springs are available for split ranging. A positioner is required for split range input signal.

Materials:

Part	Material	
	Models 55/115	Model 75
Diaphragm	Neoprene with nylon mesh insert	Neoprene with dacron mesh insert
Casings - Upper and Lower	Pressed Carbon Steel	
Yoke	Cast Iron	
Stem	416 SST	
Diaphragm Plate	Cast Iron	
Spring Button	Cast Iron	
Spring Adjustor	18-8 SST	
Position Indicator	SST	
Bolting-Casings	Plated Steel	
Jam Nuts	18-8 SST	
Position Plate, Screws & Unit Nameplate	SST	
Bonnet/Yoke Nut	Plated Steel	

OPTION SPECIFICATIONS

Option -3:

MANUAL HANDWHEEL. Overrides the actuator spring force to allow manual stroking of the valve. Single acting design, top-mounted, enclosed handwheel. For ATO-FC action, handwheel operator “opens” the valve against spring force; may be utilized as a travel stop to prevent full closure. For ATC-FO action, handwheel operator “closes” the valve against spring force; may be utilized as a travel stop to prevent full opening.

Option -15:

STELLITED TRIM. For metal seated 316 SST designs only; limited to use with S1S, S1R, S1SE, S1RE or S1HT trim designation numbers only. Seat ring and plug seating surfaces are covered with Stellite #6 material. Recommended for flashing or partially cavitating liquid service, or where extended time periods of ON-OFF or low flow (less than 10% open) operation occur and good shutoff is required.

Option -26:

LEAK-OFF CONNECTION. 1/4" NPT tapped opening on bonnet. Complete with removeable steel plug for all body materials. Located between primary and secondary packing sets when supplied with Option -34, Dual Packing. See Figure 4.

Option -34:

DUAL PACKING. Two sets of standard TFE V-ring packing separated by a lantern ring of same material as trim material. Use for lethal, toxic, explosive, etc., type fluids, where extra packing sealing protection is desired; also used for vacuum service. *USE TABLE 4 FOR MAX. ALLOWABLE PRESSURE DROP.*

Arrangement A – Pressure inside valve is always greater than ambient pressure; see Figure 5.

Arrangement B – Pressure inside valve is always less than (i.e. vacuum) ambient pressure; see Figure 6.

Arrangement C – Pressure inside valve is alternately greater than or less than (i.e. vacuum) ambient pressure; see Figure 7.

Option -35:

HIGH TEMPERATURE CONSTRUCTION. Apply where temperatures from 450° to 750°F (232° to 400°C) are expected. Includes high strength, high temperature alloy bolting for the bonnet and packing retainer when applied with a SST body. Must select Opt -HTE stem packing design. Limited to use with trim designation S1HT ONLY.

Option -EXT:

TFE V-RING PACKING (External) Standard internal live-loaded (LL) design is replaced by patented external LL design. Includes SST Belleville spring washers enclosed within a SST spacer with SST upper and lower retainers (see Figure 3), and a variation of the standard packing follower. Temperature range: -20 to +450°F (-29 to +232°C).

Option -HTE:

HIGH TEMPERATURE PACKING. Includes patented externally live-loaded design. Packing set includes braided carbon yarn, graphite embedded upper and lower rings; high density graphite formed rings acting as non-extrusion adapters; and compressed carbon graphite ribbon

Option - HTE (Cont): formed into one-piece rings. Special packing follower includes carbon bushing. Temperature range: -20° to +750°F (-29° to +400°C). Opt-HTE is further classified as to max. inlet pressure— Opt-HTE-Lo is for inlet pressures up to 250 psig (17.2 Barg); Opt-HTE-Hi is for inlet pressures greater than 250 psig (17.2 Barg). **NOTE:** If application is for temperatures greater than 450 °F (232 °C), Opt-35 is also required.

Option -KRI: **KALREZ PACKING (Internal)** Standard packing is replaced with DuPont “Kalrez” fluoroelastomer, Series 500 KVSP packing set, consisting of one carbon filled TFE V-ring, two Kalrez V-rings, and upper and lower CRCC non-extrusion adapter rings. Uses standard internal live-loading. Temperature range: -20° to +450°F (-29° to +232°C).

Option -KRE: **KALREZ PACKING (External).** Incorporates external live-loaded features of packing Opt-EXT, and packing rings of packing KRI. Temperature range: -20° to +450°F (-29° to +232°C).

Option -38J: **JAMMED PACKING.** Live loading packing spring is replaced by a fixed spacer of same material as trim material; see Figure 8. **USE TABLES 2 AND 3 FOR MAX ALLOWABLE PRESSURE DROP.**

Option -40: **NACE SERVICE.** Internal wetted portions meet NACE standard MR0175-90 revision, when the exterior of the valve is not directly exposed to a sour gas environment, buried, insulated or otherwise denied direct atmospheric exposure. Apply in sour gas, sour crude, or service with hydrogen sulfide (H₂S) in the flow mixture. Limits effects of sulfide stress corrosion cracking. Use with CS or SST body/bonnet materials, and only with trim designations S40, S40E, S40T, or S40TE. Certificate of compliance supplied on request.

Option -55: **SPECIAL CLEANING.** Cleaned and packaged per Cashco Specification #S-1134. Suitable for oxygen service and other fluids. SST BODIES ONLY.

Option -56: **SPECIAL CLEANING.** Special cleaning procedure per Cashco Specification #S-1542. Suitable for fluids other than oxygen. For all body materials.

Option -95: **EPOXY PAINT.** Special epoxy painting for exterior surfaces. Utilized in harsh atmospheric conditions. Procedures and specs per Cashco Specification #S-1547.

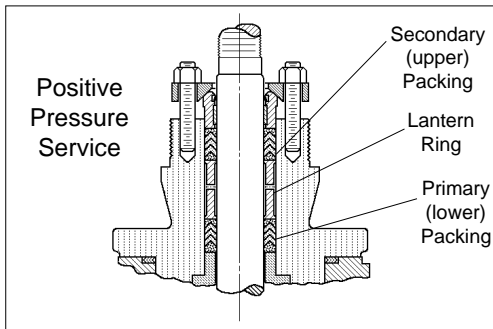


FIGURE 5
Dual Packing – Arr. “A”
Option-34A

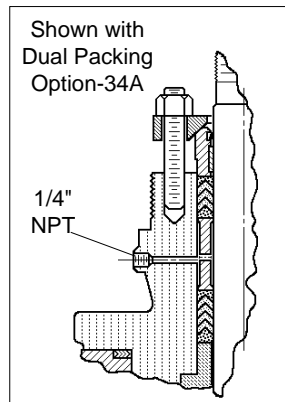


FIGURE 4
Leak-Off Conn.
Option-26

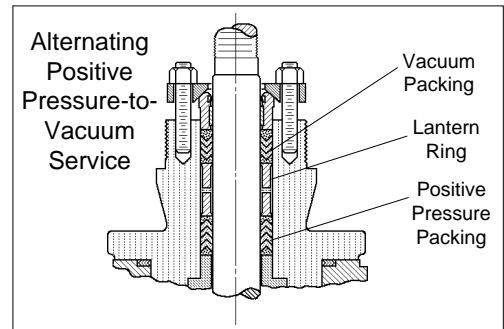


FIGURE 7
Dual Packing – Arr. “C”
Option-34C

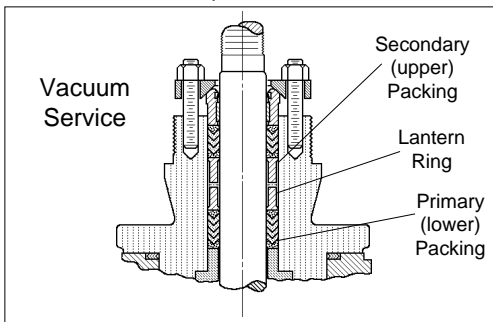


FIGURE 6
Dual Packing – Arr. “B”
Option-34B

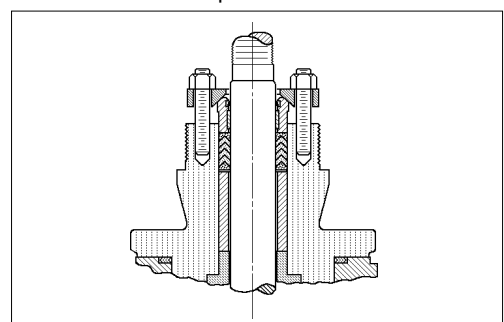


FIGURE 8
Jammed Packing
Option-38

MOUNTED ACCESSORY SPECIFICATIONS

Positioners:

General. Yoke mounted to unit. All feedback linkage exposed to elements of SST materials. Aluminum housing with corrosion resistant polyurethane paint. Standard with 2-gauge cluster. Pneumatic output load as required by actuator bench range. Adjustable zero, stroke, gain and damping settings. Field reversible action. Dedicated airset recommended.

P/P Pneumatic. **Model 9540L**. Accepts 3-15 psig (0.2-1.0 Barg); 2-way split ranges 3-9 or 9-15 psig (0.2-0.6 or 0.6-1.0 Barg) input signals. Plastic cover with see-thru panel to view internal gauges.

I/P Electro-Pneumatic. **Model 9520L**. Accepts 4-20 mA; 2-way split ranges 4-12 or 12-20 mA input signals. NEMA 3 enclosure, intrinsically safe. FM approved. Gauges mounted on external gauge block.

Mounting Bracket. P/P – Pneumatic uses a SST bracket.
I/P – Electro Pneumatic uses a die cast aluminum bracket.

Air Tubing:

Standard instrument air tubing is Imperial-Eastman "Impolene" thermo-plastic tubing with brass fittings.

Optional copper tubing with brass fittings, or SST tube and fittings.

Airset:

Model 5100P instrument air supply regulator. Use with positioners. Bracket mounted to actuator casing.

Solenoid Valve:

Standard Brass: Available in standard NEMA 3, 4 and 6 weatherproof model, or

NEMA 4 & 7 explosion-proof model. Brass body, 1/4" female NPT connections. Nipple mounted or bracket mounted to actuator casing. 120 VAC, 60 Hz power supply. Class F coil, continuous duty. 0.125" (3 mm) orifice, 50 psid (3.4 Bard) maximum pressure drop.

Gen. Purpose: ASCO #8320G176.

X-Proof: ASCO #EF8320G176.

Alternate SST: Similar to standard unit, except with .094" (2.38 mm) orifice, 40 psid (2.75 Bard) maximum differential pressure, and 303 SST body.

Gen. Purpose: ASCO #8320G201.

X-Proof: ASCO #EF8320G201.

Standard installation vents actuator and drives valve to failsafe position upon loss of electrical power.

Position Indicating Switches:

Standard: Yoke mounted, rotary trip switch; contains 1-SPDT switch. Switch rating is 15A @ 125 or 250 VAC. UL/CSA rating L96. Up to two switch units may be mounted per valve.

Gen. Purpose: Microswitch #OP-AR. NEMA 4 enclosure.

X-Proof: Microswitch #EX-AR. For "hazardous locations" NEMA 7, Class 1, Groups C & D; NEMA 9, Class II, Groups E, F & G.

Alternate: Proximity Controls Model #12ALO, 2-SPDT switches. Switch rating is 15A @ 125 or 250 VAC; proximity-type. UL listed for Class I, Groups A, B, C, D; Class II, Groups E, F, G; Div. 1 and 2. CSA, BASEEFA and CENELEC listed. Enclosure per NEMA 1, 2, 3, 3R, 3S, 4, 4X, 6, 7, 9, 12 and 13.

APPLICATION AND SELECTION

The following procedure will help determine a suitable selection for an application. Consult Cashco area Representative for assistance in sizing.

STEP 1.

FIVE KNOWNNS. The following minimal parameters/information must be available before a selection procedure can begin:

- a. Service Fluid – What is it? Liquid or gas? SG (std. cond.).
- b. Inlet Pressure – P_1 (upstream pressure).
- c. Outlet Pressure - P_2 (downstream pressure).
- d. Desired capacity – Cv, GPM, SCFH; minimum, maximum and normal.
- e. Fluid temperature – T_1 , SG (actual).

STEP 2.

CHARACTER and RESERVE. Decide whether the inherent characteristic of the valve should be equal percent or linear. Also, decide the amount of over-capacity in the selection; i.e. =% character with 20% reserve capacity. (NOTE: A linear character gives "constant gain" throughout the full stroke. An equal percent character gives a "low gain" up to near 50% of full signal, a "medium gain" up to about 75% of full signal, and a "high gain" the last 25% of full signal.)

STEP 3. **CAPACITY.** Using the knowns from Step 1, calculate the maximum and minimum Cv required.

Example: Max Cv Req'd = 7.5 Cv
Min Cv Req'd = 0.8 Cv
=% Character
20% reserve capacity

Max Cv Available
 $7.5 \div 0.80 = 9.4 \text{ Cv}$

Select the body/orifice sizes that are near the 9.4 Cv Available level. Table 7 should be used as the character is =%.

Example: Preliminary selections –

- a. 1" @ 11.8 Cv Max, full port.
- b. 1-1/2" @ 10.4 Cv Max, reduced port.

STEP 4. **RANGEABILITY.** Check the Min Cv Available from Table 7 for the selection of Step 3.

- a. 0.24 Cv @ Min. Cv.
- b. 0.21 Cv @ Min Cv

As the Min Cv Req'd is greater than any of the previous Min Cv Available, all of the selections are acceptable at minimum flow level.

STEP 5. **FAILURE ACTION.** Consider the process related safety conditions to determine if the valve should "fail open" or "fail close" upon:

- a. loss of air supply pressure.
 - b. loss of electric power. *
 - c. loss of both supply air and electric power. *
- * Requires 3-way solenoid valve.

STEP 6. **P vs. T BODY RATINGS.** For the desired body material assure that the actual design inlet temperature/pressure limits established in Table 1 are not exceeded.

STEP 7. **PRESSURE DROP & ACTUATOR SIZE.** Maximum pressure drop (ΔP) is normally experienced at shutoff flow. Knowing the maximum ΔP required, the desired action/failsafe position (ATO-FC or ATC-FO), the seat design (metal or composition soft), and the packing type, go to the correct table of Tables 2 thru 5 to assure the valve's capability.

Example: ΔP shutoff = 320 psid (22.1 Bard). Valve selected – 1-1/2" (DN40) @ 10.4 Cv Max, reduced port, TFE seat, TFE packing, ATO-FC action.

Selection: Use Table 3. Only acceptable actuator is Model 55R-10 with a 5-15 psig (.34-1.03 Barg) bench set range spring.

Note: *If a bench set had been selected such as a 10-30 psig (.69-2.07 Barg), i.e. other than a nominal 3-15 psig (.21-1.03 Barg); a positioner would have been required.)*

STEP 8. **MATERIALS.** Review Table 9. Select the desired trim from Table 6. Consider the use of Option -15, stellited seating surfaces. Consider leakage rate.

Reference materials vs. fluid corrosion tables for suitability of body and trim materials.

STEP 9. **ACCESSORIES.** Consider use of various valve installed accessories:

- a. P/P positioner
- b. I/P positioner
- c. Position limit switches
- d. Manual handwheel
- e. Solenoid valve
- f. Airset

TECHNICAL SPECIFICATIONS

**TABLE 1
MATERIAL PRESSURE / TEMPERATURE RATINGS**

Body/Bonnet Materials		Option Nos.	End Connection	English Units		Metric Units	
General	ASTM Spec.			Pressure psig	Temperature °F	Pressure Barg	Temperature °C
Cast Carbon Steel (CS)	A216, Grade WCB	None	150# Flanged	285	-20 to +100	19.6	-29 to +38
				260	200	17.9	94
				230	300	15.9	149
				200	400	13.8	205
				185	450	12.7	232
				155	550	10.7	288
				125	650	8.6	344
		95	750	6.5	400		
		-35 (T>450°F)	NPT, SW or 300# Flanged (Note 1)	740	-20 to +100	51.0	-29 to +38
				675	200	46.5	94
				655	300	45.2	149
				635	400	43.8	205
				615	450	42.4	232
				575	550	39.6	288
535	650			36.9	344		
505	750	34.8	400				
Cast Stainless Steel (SST)	A351 Grade CF3M	None	150# Flanged	275	-20 to +100	18.9	-29 to +38
				235	200	16.2	94
				215	300	14.8	149
				195	400	13.4	205
				180	450	12.4	232
				155	550	10.7	288
				125	650	8.6	344
		95	750	6.5	400		
		-35 (T>450°F)	NPT, SW or 300# Flanged (Note 2)	720	-20 to +100	49.6	-29 to +38
				620	200	42.7	94
				560	300	38.6	149
				515	400	35.5	205
				495	450	34.1	232
				465	550	32.1	288
445	650			30.7	344		
425	750	29.3	400				
Cast Ni-Mo-Cr (H-C)	A494, Gr. CW-12MW (Note 3)	None	150# Flanged (with CS flanges)	230	-20 to +100	15.8	-29 to +38
				205	200	14.1	94
				195	300	13.4	149
				185	400	12.7	205
				175	450	12.0	232
		None	150# Flanged (with SST flanges)	230	-20 to +100	15.8	-29 to +38
				205	200	14.1	94
				195	300	13.4	149
				185	400	12.7	205
				175	450	12.0	232
		None	300# Flanged (with CS flanges)	600	-20 to +100	41.3	-29 to +38
				540	200	37.2	94
				505	300	34.8	149
				480	400	33.1	205
				465	450	32.0	232
None	300# Flanged (with SST flanges)	600	-20 to +100	41.3	-29 to +38		
		540	200	37.2	94		
		505	300	34.8	149		
		480	400	33.1	205		
		465	450	32.0	232		

NOTE 1: CS separable flanges with CS bodies. NOTE 2: CS or SST separable flanges with SST or H-C bodies.
NOTE 3: H-C material is now recognized by ASME in Sec. VIII of BPVC. It is not covered by ANSI B16.34.

TABLE 2
MAXIMUM PRESSURE DROP – psid (Bard)
METAL SEATED
PACKING DESIGNS – STD, EXT, KRI, KRE, 38J

Actuator Action	Body Size Inch (mm)	Port-Orifice		Maximum Operating Pressure Drop psid (Bard)	Actuator		Air Supply Pressure psig (Barg)	
		Description	Size inch (mm)		Bench Settings psig (Barg)	Model No.		
ATO-FC (Reverse)	3/4" & 1" (DN20, 25)	Full	.750" (19.0)	320 (22)	5-15 (.34-1.03)	55R-10	20 (1.4)	
		1-Step Reduced	.562" (14.3)	600 (41)				
		2-Step Reduced						
		3-Step Reduced	.332" (8.4)	740 (51)				
		4-Step Reduced	.205" (5.2)					
		5-Step Reduced	.155" (3.9)					
	6-Step Reduced							
	1-1/2" (DN40)	Full	.750" (19.0)	600 (41)	10-30 (.69-2.07)	55R-11	35 (2.4)	
		Full	1.250" (31.8)	65 (4.5)	5-15 (.34-1.03)	55R-10	20 (1.4)	
		Reduced	.750" (19.0)	320 (22)				
		Full	1.250" (31.8)	255 (17)	10-30 (.69-2.07)	55R-11	35 (2.4)	
		Reduced	.750" (19.0)	600 (41)				
		Full	1.250" (31.8)	175 (12)	5-15 (.34-1.03)	75R-10	20 (1.4)	
	2" (DN50)	Full	1.688" (42.9)	75 (5.2)	10-30 (.69-2.07)	75R-11	35 (2.4)	
		Reduced	1.000" (25.4)	400 (27)	5-15 (.34-1.03)	75R-12	20 (1.4)	
		Full	1.688" (42.9)	315 (21)				
		Reduced	1.000" (25.4)	240 (16)	10-30 (.69-2.07)	75R-13	35 (2.4)	
		Full	1.688" (42.9)	400 (27)				
		Reduced	1.000" (25.4)	150 (10)	5-15 (.34-1.03)	115R-10	20 (1.4)	
	ATC-FO (Direct)	3/4" & 1" (DN20, 25)	Full	.750" (19.0)	530 (36)	3-13 (.21-.90)	55D-10	20 (1.4)
			1-Step Reduced	.562" (14.3)	600 (41)			
2-Step Reduced								
3-Step Reduced			.332" (8.4)	740 (51)				
4-Step Reduced			.205" (5.2)					
5-Step Reduced			.155" (3.9)					
6-Step Reduced								
1-1/2" (DN40)		Full	.750" (19.0)	600 (41)	6-26 (.41-1.79)	55D-11	35 (2.4)	
		Full	1.250" (31.8)	140 (9.6)	3-13 (.21-.90)	55D-10	20 (1.4)	
		Reduced	.750" (19.0)	530 (36)				
		Full	1.250" (31.8)	215 (15)	6-26 (.41-1.79)	55D-11	35 (2.4)	
		Reduced	.750" (19.0)	600 (41)				
		Full	1.250" (31.8)	300 (20)	3-13 (.21-.90)	75D-10	20 (1.4)	
2" (DN50)		Full	1.688" (42.9)	400 (27)	6-26 (.41-1.79)	75D-11	35 (2.4)	
		Reduced	1.000" (25.4)	400 (27)				
	Full	1.688" (42.9)	140 (9.6)	3-13 (.21-.90)	75D-12	20 (1.4)		
	Reduced	1.000" (25.4)	210 (14)	6-26 (.41-1.79)	75D-13	35 (2.4)		
	Full	1.688" (42.9)	400 (27)					
	Reduced	1.000" (25.4)	250 (17)	3-13 (.21-.90)	115D-10	20 (1.4)		
2" (DN50)	Full	1.688" (42.9)	400 (27)	6-26 (.41-1.79)	115D-11	35 (2.4)		
	Reduced	1.000" (25.4)	400 (27)					
	Full	1.688" (42.9)	400 (27)					

NOTE: All above pressure drop values are based on Flow-to-Open (FTO) direction. Consult factory before applying in FTC direction.

**TABLE 3
MAXIMUM PRESSURE DROP – psid (Bard)
COMPOSITION SOFT SEAT
PACKING DESIGNS – STD, EXT, KRI, KRE, 38J**

Actuator Action	Body Size Inch (mm)	Port-Orifice		Maximum Operating Pressure Drop psid (Bard)	Actuator		Air Supply Pressure psig (Barg)			
		Description	Size inch (mm)		Bench Settings psig (Barg)	Model No.				
ATO-FC (Reverse)	3/4" & 1" (DN20, 25)	Full	.750" (19.0)	400 (27)	5-15 (.34-1.03)	55R-10	20 (1.4)			
		1-Step Reduced	.562" (14.3)							
		2-Step Reduced								
		3-Step Reduced	.332" (8.4)							
	1-1/2" (DN40)	Full	1.250" (31.8)	110 (7.6)	5-15 (.34-1.03)	55R-10	20 (1.4)			
		Reduced	.750" (19.0)	400 (27)						
		Full	1.250" (31.8)	300 (20)				10-30 (.69-2.07)	55R-11	35 (2.4)
				225 (15)				5-15 (.34-1.03)	75R-10	20 (1.4)
	2" (DN50)	Full	1.688" (42.9)	400 (27)	10-30 (.69-2.07)	75R-11	35 (2.4)			
				110 (7.6)	5-15 (.34-1.03)	75R-12	20 (1.4)			
		Reduced	1.000" (25.4)	375 (25)	10-30 (.69-2.07)	75R-13	35 (2.4)			
		Full	1.688" (42.9)	275 (19)						
Reduced		1.000" (25.4)	400 (27)							
Full		1.688" (42.9)	185 (12)	5-15 (.34-1.03)				115R-10	20 (1.4)	
		400 (27)	10-30 (.69-2.07)	115R-11	35 (2.4)					
ATC-FO (Direct)	3/4" & 1" (DN20, 25)	Full	.750" (19.0)	400 (27)	3-13 (.21-.90)	55D-10	20 (1.4)			
		1-Step Reduced	.562" (14.3)							
		2-Step Reduced								
		3-Step Reduced	.332" (8.4)							
	1-1/2" (DN40)	Full	1.250" (31.8)	190 (13)	3-13 (.21-.90)	55D-10	20 (1.4)			
		Reduced	.750" (19.0)	400 (27)						
		Full	1.250" (31.8)	265 (18)				6-26 (.41-1.79)	55D-11	35 (2.4)
				350 (24)				3-13 (.21-.90)	75D-10	20 (1.4)
	2" (DN50)	Full	1.688" (42.9)	400 (27)	6-26 (.41-1.79)	75D-11	35 (2.4)			
				175 (12)	3-13 (.21-.90)	75D-12	20 (1.4)			
		Reduced	1.000" (25.4)	400 (27)	6-26 (.41-1.79)	75D-13	35 (2.4)			
		240 (16)	6-26 (.41-1.79)	75D-13				35 (2.4)		
285 (19)		3-13 (.21-.90)	115D-10	20 (1.4)						
400 (27)		6-26 (.41-1.79)	115D-11	35 (2.4)						

NOTE: All above pressure drop values are based on Flow-to-Open (FTO) direction. Consult factory before applying in FTC direction.

**TABLE 4
MAXIMUM PRESSURE DROP – psid (Bard)
METAL OR COMPOSITION SOFT SEATED with OPT-34A/B/C DUAL PACKING**

Actuator Action	Body Size Inch (mm)	Port-Orifice		Maximum Operating Pressure Drop psid (Bard)	Actuator		Air Supply Pressure psig (Barg)
		Description	Size inch (mm)		Bench Settings psig (Barg)	Model No.	
ATO-FC (Reverse)	3/4" & 1" (DN20, 25)	Full	.750" (19.0)	530 * (36)	7-30 (.48-2.07)	55R-11	35 (2.4)
		1-Step Reduced	.562" (14.3)	600 * (41)			
		2-Step Reduced					
		3-Step Reduced	.332" (8.4)	740 * (51)			
		4-Step Reduced	.205" (5.2)				
		5-Step Reduced	.155" (3.9)	740 ** (51)			
	1-1/2" (DN40)	Full	1.250" (31.8)	100 (6.9)	7-30 (.48-2.07)	55R-11	
		Reduced	.750" (19.0)	400 (27)			
		Full	1.250" (31.8)	360 (25)	8-30 (.55-2.07)	75R-11	
	2" (DN50)	Full	1.688" (42.9)	175 (12)	8-30 (.55-2.07)	75R-13	
		Reduced	1.000" (25.4)	400 (27)			
		Full	1.688" (42.9)	350 (24)	9-30 (.62-2.07)	115R-11	
ATC-FO (Direct)	3/4" & 1" (DN20, 25)	Full	.750" (19.0)	425 * (29)	6-29 (.41-2.00)	55D-11	35 (2.4)
		1-Step Reduced	.562" (14.3)	600 * (41)			
		2-Step Reduced					
		3-Step Reduced	.332" (8.4)	740 * (51)			
		4-Step Reduced	.205" (5.2)				
		5-Step Reduced	.155" (3.9)	740 ** (51)			
	1-1/2" (DN40)	Full	1.250" (31.8)	140 (9.6)	6-29 (.41-2.00)	55D-11	
		Reduced	.750" (19.0)	400 (27)			
		Full	1.250" (31.8)	300 (20)	6-28 (.41-1.93)	75D-11	
	2" (DN50)	Full	1.688" (42.9)	140 (9.6)	6-28 (.41-1.93)	75D-13	
		Reduced	1.000" (25.4)	400 (27)			
		Full	1.688" (42.9)	300 (20)	6-27 (.41-1.86)	115D-11	

NOTE: All above pressure drop values are based on Flow-to-Open (FTO) direction. Consult factory before applying in FTC direction.

* Maximum pressure drop with composition soft seat is 400 psid (27 Bard); value given is metal seat only.

** Metal seat only.

**TABLE 5
MAXIMUM PRESSURE DROP – psid (Bard)
METAL SEAT – HIGH TEMP. PACKING, OPT-HTE**

Actuator Action	Body Size Inch (mm)	Port-Orifice		Maximum Operating Pressure Drop psid (Bard)	Actuator		Air Supply Pressure psig (Barg)
		Description	Size inch (mm)		Bench Settings psig (Barg)	Model No.	
ATO-FC (Reverse)	3/4" & 1" (DN20, 25)	Full	.750" (19.0)	425 (29)	6-30 (.41-2.07)	55R-11	35 (2.4)
		1-Step Reduced	.562" (14.3)	600 (41)			
		2-Step Reduced					
		3-Step Reduced	.332" (8.4)	740 (51)			
		4-Step Reduced	.205" (5.2)				
		5-Step Reduced	.155" (3.9)				
	6-Step Reduced						
	1-1/2" (DN40)	Full	1.250" (31.8)	100 (6.9)	6-30 (.41-2.07)	55R-11	
		Reduced	.750" (19.0)	400 (27)			
		Full	1.250" (31.8)	300 (20)	7-30 (.48-2.07)	75R-11	
	2" (DN50)	Full	1.688" (42.9)	140 (9.6)	7-30 (.48-2.07)	75R-13	
		Reduced	1.000" (25.4)	400 (27)			
Full		1.688" (42.9)	300 (20)	8-30 (.55-2.07)	115R-11		
ATC-FO (Direct)	3/4" & 1" (DN20, 25)	Full	.750" (19.0)	320 (22)	6-30 (.41-2.07)	55D-11	35 (2.4)
		1-Step Reduced	.562" (14.3)	600 (41)			
		2-Step Reduced					
		3-Step Reduced	.332" (8.4)	740 (51)			
		4-Step Reduced	.205" (5.2)				
		5-Step Reduced	.155" (3.9)				
	6-Step Reduced						
	1-1/2" (DN40)	Full	1.250" (31.8)	65 (4.5)	6-30 (.41-2.07)	55D-11	
		Reduced	.750" (19.0)	320 (22)			
		Full	1.250" (31.8)	240 (16)	6-29 (.41-2.00)	75D-11	
		Reduced	.750" (19.0)	400 (27)			
	2" (DN50)	Full	1.688" (42.9)	105 (7.2)	6-29 (.41-2.00)	75D-13	
		Reduced	1.00" (25.4)	400 (27)			
		Full	1.688" (42.9)	250 (17)	6-28 (.41-1.93)	115D-11	

NOTE: All above pressure drop values are based on Flow-to-Open (FTO) direction. Consult factory before applying in FTC direction.

**TABLE 6
TRIM MATERIALS VS. DESIGNATION NOS.**

Part Description	METAL SEAT – Trim Designation Nos.								
	S1S *	S1R *	S40 **	HC1	√ S1HT *	S1SE *	S1RE *	S40E **	HC1E
Plug/Stem Assy.	316L SST	316L SST	316L SST	Hast C-22	316L SST	316L SST	316L SST	316L SST	Hast C-22
Seat Ring	316L SST	316L SST	316L SST	Hast C-22	316L SST	316L SST	316L SST	316L SST	Hast C-22
Cage	CF3M	CF3M	CF3M	CW-12MW	CF3M	CF3M	CF3M	CF3M	CW-12MW
Upper Stem Guide	Rulon Tape	Rulon Tape	Rulon Tape	Rulon Tape	Carbon	Rulon Tape	Rulon Tape	Rulon Tape	Rulon Tape
Lower Guide		316L SST	316L SST	Hast C-22			316L SST	316L SST	Hast C-22
Bushing	Stellite #6	Rulon	Rulon	Rulon	Stellite #6	Stellite #6	Rulon	Rulon	Rulon
Packing Load Spring	Cold Worked 316 SST	Cold Worked 316 SST	Cold Worked Inconel X-750	Cold Worked Hast C-276	None	None	None	None	None
Packing Follower	316L SST	316L SST	316L SST	Hast C-22	316L SST	316L SST	316L SST	316L SST	Hast C-22
Wiper Ring	***	***	***	***	None	None	None	None	None
Spacer	316L SST	316L SST	316L SST	Hast C-22	316L SST	316L SST	316L SST	316L SST	Hast C-22
Packing Design	Internal Live-Loaded				External Live-Loaded or jammed				

Part Description	COMPOSITION / SOFT SEAT – Trim Designation Nos.							
	S3S	S3R	S40T **	HC3	S3SE	S3RE	S40TE **	HC3E
Plug/Stem Assy.	316L SST	316L SST	316L SST	Hast C-22	316L SST	316L SST	316L SST	Hast C-22
Seat Ring	316L SST	316L SST	316L SST	Hast C-22	316L SST	316L SST	316L SST	Hast C-22
Cage	CF3M	CF3M	CF3M	CW-12MW	CF3M	CF3M	CF3M	CW-12MW
Upper Stem Guide	Rulon Tape	Rulon Tape	Rulon Tape	Rulon Tape	Rulon Tape	Rulon Tape	Rulon Tape	Rulon Tape
Lower Guide		316L SST	316L SST	Hast C-22		316L SST	316L SST	Hast C-22
Bushing	Stellite #6	Rulon	Rulon	Rulon	Stellite #6	Rulon	Rulon	Rulon
Packing Load Spring	Cold Worked 316 SST	Cold Worked 316 SST	Cold Worked Inconel X-750	Cold Worked Hast C-276	None	None	None	None
Packing Follower	316L SST	316L SST	316L SST	Hast C-22	316L SST	316L SST	316L SST	Hast C-22
Wiper Ring	***	***	***	***	None	None	None	None
Spacer	316L SST	316L SST	316L SST	Hast C-22	316L SST	316L SST	316L SST	Hast C-22
Seat Retainer	316L SST	316L SST	316L SST	Hast C-22	316L SST	316L SST	316L SST	Hast C-22
Seat Insert	TFE	TFE	TFE	TFE	TFE	TFE	TFE	TFE
Packing Design	Internal Live-Loaded				External Live-Loaded or Jammed			

√ Only trim recommended for temperatures greater than 450°F (232°C), and up to 750°F (400°C).

* Use these trim designation numbers for Option -15 Stellite Seating surfaces.

** Use these trims when application is required for NACE service.

*** Polyurethane / Molybdenum

Material	Material Specifications
316L SST	ASTM A479, S31603; Wrought Barstock, Annealed
CF3M	ASTM A351, Gr. CF3M; Cast 316L SST
Hastelloy C-22	ASTM B574, Alloy N06022; Wrought Barstock, Annealed
CW-12MW	ASTM A494, Gr. CW-12MW; Cast Ni-Mo-Cr, similar to "Hastelloy C".

TABLE 7
FLOW CAPACITY – Cv
EQUAL PERCENT (=%) CHARACTER
Cv @ 10% TRAVEL INCREMENTS
FL @ 10%; FL @ 100%
METAL or COMPOSITION SOFT SEAT

Body Size inch/(mm)	Port Size	FL @ 10% Travel	Minimum Flow	Percent of Travel - %										FL @ 100% Travel
				10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
3/4" (DN20)	Full	.90	.24	.4	.7	1.2	1.9	2.6	3.6	5.3	7.6	9.6	10.7	.90
	1-Step Reduced	.90	.14	.3	.6	.9	1.2	1.6	2.2	3.0	4.1	5.5	6.7	
3/4" & 1" (DN20 & 25)	2-Step Reduced	.90	.12	.2	.4	.6	.8	1.0	1.3	1.7	2.3	3.0	4.1	.90
	3-Step Reduced	.90	.10	.14	.2	.3	.4	.5	.7	.9	1.3	1.8	2.5	
1" (DN25)	Full	.90	.24	.4	.7	1.2	1.9	2.6	3.6	5.3	7.6	10.2	11.8	.90
	1-Step Reduced	.90	.14	.3	.6	.9	1.2	1.6	2.2	3.1	4.3	5.7	7.0	
1-1/2" (DN40)	Full	.90	.52	1.2	2.3	3.4	4.5	6.3	8.8	13.7	18.5	22.8	26	.90
	Reduced	.90	.21	.6	.9	1.3	1.9	2.5	3.4	4.7	6.2	8.2	10.4	
2" (DN50)	Full	.90	.94	2.8	4.9	7.1	9.7	12.9	17.1	24	32	41	47	.90
	Reduced	.90	.36	1.0	1.8	2.6	3.4	4.8	6.3	8.2	10.8	14.4	18.2	

TABLE 8
FLOW CAPACITY – Cv
LINEAR (Lin) CHARACTER
Cv @ 10% TRAVEL INCREMENTS
FL @ 10%; FL @ 100%
METAL or COMPOSITION SOFT SEAT

Body Size inch/(mm)	Port Size	FL @ 10% Travel	Minimum Flow	Percent of Travel - %										FL @ 100% Travel
				10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
3/4" (DN20)	Full	.90	.25	1.2	2.5	3.9	5.2	6.4	7.5	8.7	9.7	10.7	11.6	.90
	1-Step reduced	.90	.15	.8	1.5	2.2	3.0	3.7	4.5	5.2	5.9	6.5	7.1	
3/4" & 1" (DN20, 25)	2-Step Reduced	.90	.14	.4	.8	1.2	1.7	2.1	2.5	3.0	3.4	3.8	4.3	.90
	3-Step Reduced	.90	.08	.3	.6	.8	1.1	1.4	1.7	2.0	2.3	2.5	2.6	
	4-Step Reduced	.90	.03	.1	.2	.3	.4	.5	.7	.8	.9	1.0	1.1 *	
	5-Step Reduced	.90	.02	.06	.12	.18	.24	.29	.35	.41	.46	.52	.58 *	
1" (DN25)	6-Step Reduced	.90	.01	.03	.06	.08	.11	.14	.16	.19	.22	.24	.27 *	.90
	Full	.90	.25	1.2	2.5	3.9	5.2	6.5	7.8	9.2	10.5	11.7	12.7	
1-1/2" (DN40)	1-Step Reduced	.90	.15	.8	1.5	2.2	3.1	3.8	4.6	5.4	6.2	6.9	7.5	.90
	Full	.90	.54	2.6	5.0	7.4	10.0	12.6	15.2	18.2	21	24	27	
2" (DN50)	Reduced	.90	.22	.9	1.8	2.7	3.7	4.6	5.7	6.8	8.0	9.4	10.8	.90
	Full	.90	1.0	4.2	10.0	15.3	19.8	23	27	35	41	46	50	
2" (DN50)	Reduced	.90	.39	1.9	4.0	6.1	8.0	10.0	12.0	13.9	15.8	17.9	19.4	.90
	Full	.90	.94	2.8	4.9	7.1	9.7	12.9	17.1	24	32	41	47	

* Metal Seat ONLY

**TABLE 9
APPLICATION RECOMMENDATIONS**

Fluid		Temperature Range			Options	Trim Designation Nos.
		T<250°F (T<121°C)	250°<T<450°F (121°<T<232°C)	450°<T<750°F (232°<T<400°C)		
GASES	Inert Industrial (N ₂ , He, Ar)	√	√	—	None, -EXT	S3S, S3R, S3SE, S3RE, S1S, S1R, S1SE, S1RE
		—	—	√	-35, HTE	S1HT
	Oxygen	√	√	CF	-55, -EXT	S3S, S3R, S3SE, S3RE, S1S, S1R, S1SE, S1RE
		√	√	—	None, -EXT	All
	Hydrocarbons - Clean	—	—	√	-15, -35, -HTE	S1HT
		√	√	—	-15, -34	S1S, S1R, S1SE, S1RE
	Hydrocarbons - Dirty	—	—	√	-15, -35, -HTE	S1HT
√		√	CF	-34, -EXT, -KRI, -KRE	S3R, S40T, HC3, S3RE, S40TE, HC3E, S1R, S40, HC1, S1RE, HC1E	
Corrosive - Dirty	√	√	CF	-15, -34, -EXT -KRI, -KRE	S1S, S1R, S40, S1SE, S1RE, S40, S40E, HC1, HC1E	
Cryogenic	—	—	—	—	N/R	
LIQUIDS	Clean, Non-Cavitating, Non-Flashing	√	√	—	None, -EXT	S3S, S3R, S3SE, S3RE, S1S, S1R, S1SE, S1RE
		—	—	√	-15, -35, -HTE	S1HT
	Clean, Cavitating, Flashing	N/R	N/R	N/R	—	Recommend Applying Ranger QCT
	NACE (H ₂ S + HC's)	√	√	CF	-40, -KRI, -KRE, -EXT	S40, S40E, S40T, S40TE
	Corrosive	√	√	CF	-34, -EXT, -KRI, -KRE	S3R, S40T, HC3, S3RE, S40TE, HC3E, S1R, S40, HC1, S1RE, HC1E
Abrasive	N/R	N/R	N/R	—	Recommend Applying Ranger QCT	
STEAM	P1 < 150 psig (10.3 Barg)	Saturated			None, -EXT	S1S, S1R, S1SE, S1RE, S3S, S3R, S3SE, S3RE
	150 psig < P1 < 400 psig (10.3 Barg < P1 < 27.6 Barg)	Saturated			-15	S1S, S1R, S1SE, S1RE
	Superheated	√	√	—	-15, -EXT	S1S, S1HT, S1SE
		—	—	√	-15, -35, -HTE	S1HT

CF = Consult Factory
N/R = Not Recommended

DIMENSIONS & WEIGHTS
ENGLISH UNITS – Inch & Lbs.

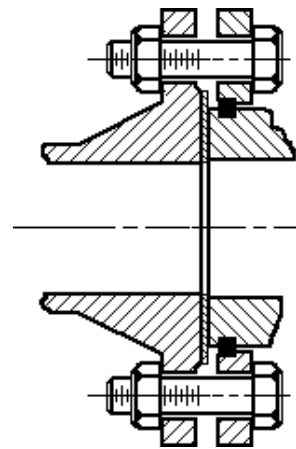
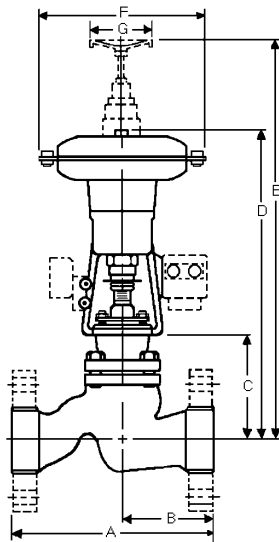
End Conn.	Dimensions	Body Size									
		3/4" and 1"		1-1/2"				2"			
		Basic Actuator Model No.									
		55D	55R	55D	55R	75D	75R	75D	75R	115D	115R
NPT or SW	A	8.25		9.25				11.25			
	B	3.68		4.00				5.00			
FLGD	A *	8.50		9.50				11.50			
	B	3.81		4.13				5.12			
ALL	C	5.03		5.40				6.16			
	D	18.63	20.82	19.00	21.19	23.40	26.37	24.16	27.13	25.22	27.94
	E	25.76	30.13	26.13	30.50	31.34	35.59	32.10	36.75	32.40	35.12
	F	10.50		10.50		13.81		13.81		15.50	
	G	4.00		4.00		8.00		8.00			
NPT or SW	SHIP WT. - LBS **	46	52	52	58	72	82	89	99	118	152
FLGD.		52	58	64	70	84	94	103	113	132	166

METRIC UNITS – mm & kg

End Conn.	Dimensions	Body Size									
		DN20 and DN25		DN40				DN50			
		Basic Actuator Model No.									
		55D	55R	55D	55R	75D	75R	75D	75R	115D	115R
NPT or SW	A	210		235				286			
	B	94		102				127			
FLGD	A *	216		241				292			
	B	97		105				130			
ALL	C	128		137				156			
	D	473	529	482	538	594	670	613	689	640	709
	E	655	766	664	775	796	904	815	933	822	892
	F	267		267		351		351		394	
	G	102		102		203		203			
NPT or SW	SHIP WT. - Kg **	21	24	24	26	33	37	40	45	54	69
FLGD.		24	26	29	32	38	43	47	51	60	75

* Face-to-face dimensions per ISA S75.20-1989.

** Basic valve with actuator, no accessories or manual handwheel operator. Add for: positioner @ 4# (1.8 kg); limit switch @ 3# (1.4 kg); manual handwheel operator @ 8# (3.6 kg).



988 body with flange bolt holes drilled to mate to DIN flange

FIGURE 9
DIN Flange

NOTES

NOTES

BIBLIOGRAFÍA

1. BELL J.W., FARKAS B.E., "Effect of Thermal Treatment on Moisture Transport during Steam Cooking of Skipjack Tuna", Journal of Food Science, Vol 66, No. 2, 2001
2. BORGSTROM GEORG, "Fish as Food" Vol 4, Academic Press Inc, 1965
3. CAMARA DE PESQUERIA, Revista "Ecuador Pesquero", Guayaquil, Volúmenes varios de 1997 a 2003
4. COBO MACHOA TANNYA ., "Determinacion experimental y calculo teorico de propiedades fisicas en filetes frescos de atun ", ESPOL FIMCP, Guayaquil, 2000.
5. HEIZER J., RENDER B. , "Operations Management", 5ta edicion, Prentice Hall Inc, 1999

6. HODSON WILLIAM K. , “Maynard, Manual del Ingeniero Industrial”,
Cuarta Edición, McGraw-Hill, 1996
7. JOSUPEIT HELGA, CATARCI CAMILLO, “Global World Tuna Markets”,
Conferencia “Tuna Competence”, Kuala Lumpur, Malasia, Junio 2002
8. MILLER IRWIN R., “Probabilidad y Estadística para Ingenieros”, 4ta
Edición, Prentice Hall Hispanoamericana, 1992.
9. MOLINA MARIA BELEN , “Proyecto de Ampliación de tamaño de planta
atunera”, Tesis, Instituto de Ciencias Humanísticas y Económicas,
Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2002
10. MYRSETH ALBERT, editor, Planning and Engineering Data. 2. Fish
Canning, FAO Fisheries Circular No. 784
11. PEREZ MARTIN R.I, BANGA J.R., “Prediction of Precooking times for
Albacore by Computer Simulation”, Journal of Food Engineering Vol 10,
1989
12. POTVIN JEAN, “Applied process control instrumentation”, Reston
Publishing Company, 1985

13. ROSALER ROBERT C., "Manual del Ingeniero de Planta", Segunda Edición, Tomo III, McGraw-Hill, 1997
14. SAPAG CHAIN NASSIR, "Preparación y Evaluación de Proyectos", Tercera Edición, Mc-Graw Hill Interamericana, 1995
15. SHINSKEY F.G, "Sistemas de control de procesos: aplicacion, diseño y sintonizacion" , Mc Graw Hill. 1996.
16. SINGH, R. PAUL, HELDMAN DENNIS R, "Introduction to food engineering", Academic Press. 1984
17. STANSBY M.E., "Industrial Fishery Technology", Reinhold Publish Corp, 1963
18. WYLIE C. RAY, Matematicas Superiores para Ingenieria, Mcgraw-Hill. 1982
19. ZHANG J., FARKAS B.E., "Precooking and Cooling of Skipjack Tuna: A Numerical Simulation", Lebensnm-Wiss. U Technol 35, 607-616, 2002

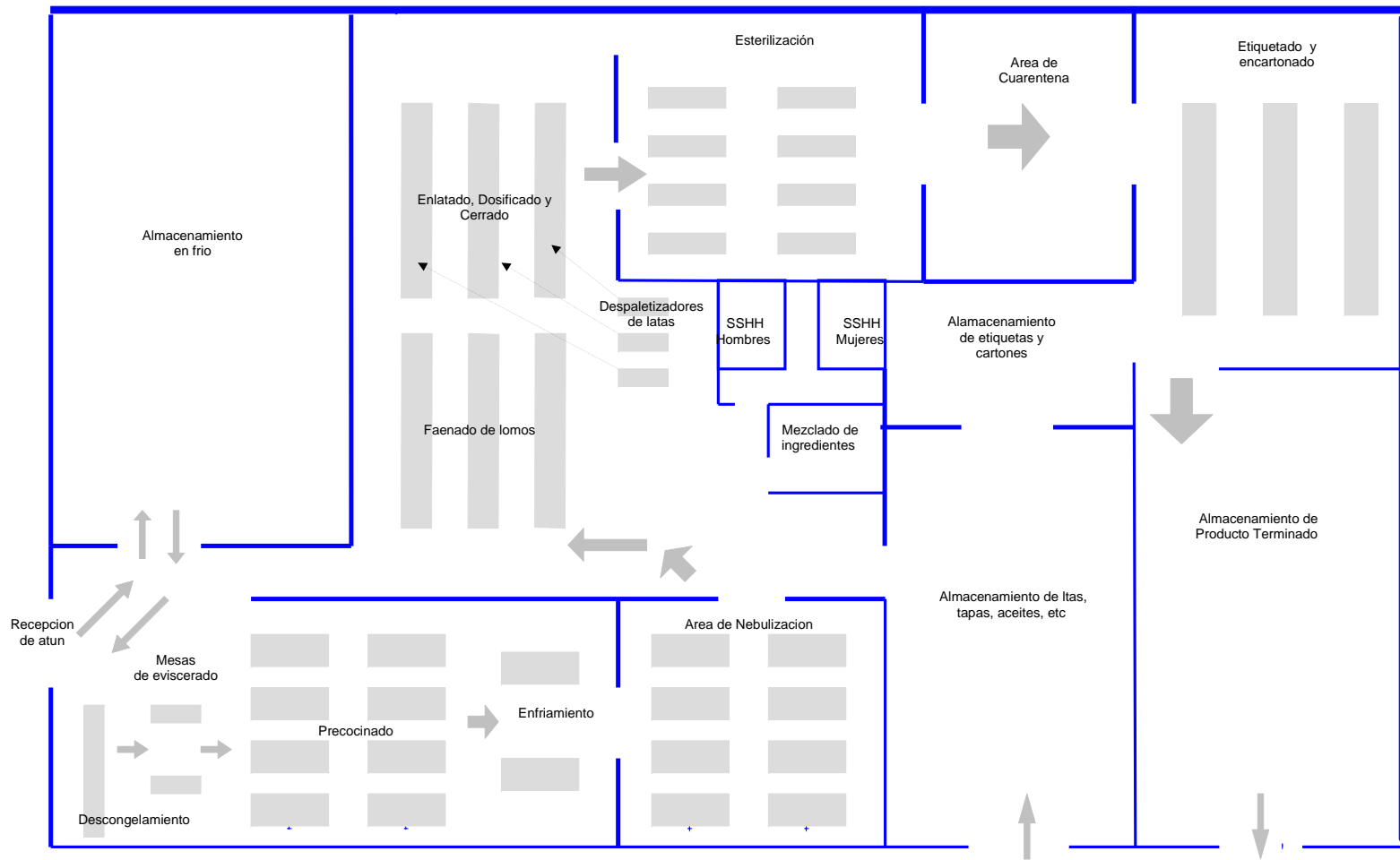


Fig 21. Distribución de la planta