

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y TEXTIL**



**“EVALUACIÓN ENERGÉTICA DEL SISTEMA DE
ENFRIAMIENTO PARA INCREMENTAR LA PRODUCCIÓN
EN UNA PLANTA DE CLORO-ÁLCALI”**

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO QUÍMICO

POR LA MODALIDAD DE ACTUALIZACIÓN DE CONOCIMIENTOS

PRESENTADO POR:

ROBERTO SÁNCHEZ TEJADA

LIMA – PERÚ

2013

RESUMEN

La industria cloro álcali es una de las más importantes actividades económicas del mundo. Tiene como principales consumidores los siguientes sectores de la economía: Papel y Celulosa, Química y Petroquímica, Aluminio, Construcción Civil, Jabones y Detergentes, Textil, Metalúrgica, Tratamiento de Agua, etc.

Las aplicaciones del cloro y soda caustica son muy variadas, lo que les da el título de los agentes más empleados en la industria química, participando directa o indirectamente en más del 50% de productos químicos.

El presente trabajo nos da una referencia del proceso productivo en la industria cloro álcali, utilizando una de las tres tecnologías conocidas para la electrólisis de una solución de salmuera.

Realizando cálculos bastante aproximados tomando en cuenta las leyes básicas de la electroquímica y química inorgánica.

Recurriremos también, a los conocimientos termodinámicos de ciclos de refrigeración por compresión de vapor para los equipos de sub enfriamiento.

Para una mejor comprensión del objetivo del informe, se da a conocer la importancia de la variable temperatura en cada uno de los procesos y porque es conveniente mantener esta variable en un rango definido para el proceso productivo.

Conociendo el proceso de producción de cada producto y sus características, se identificará cuanto y porque es necesario un sistema de enfriamiento en la planta cloro álcali.

Se evalúa las necesidades de enfriamiento en las diferentes secciones tanto en la situación de producción actual, como en la futura al incrementar la producción.

Como base se tiene la capacidad instalada de las torres de enfriamiento, lo cual nos servirá como referencia para verificar si se logrará satisfacer la cantidad de energía que se requiere disipar al realizar el incremento de la producción.

ÍNDICE

	Página
RESUMEN	
I INTRODUCCIÓN	1
II MARCO CONCEPTUAL	3
2.1. Enfriamiento por evaporación	4
2.2. Sistemas de operación gas líquido – torres de enfriamiento	5
2.3. Equipos de intercambio de calor	6
2.4. Balance energético	11
2.5. Sistemas de enfriamiento y balance energético	13
2.6. Electrólisis del cloruro de sodio en celdas de amalgama	15
2.7. Tratamiento de productos obtenidos en la reacción electrolítica	17
2.8. Suministro de energía eléctrica consumida en el proceso electrolítico	20
2.9. Sección de enfriamiento	20
III EVALUACIÓN ENERGÉTICA DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO PARA INCREMENTAR LA PRODUCCIÓN EN UNA PLANTA DE CLORO-ÁLCALI	22
3.1 Sistema de producción en una planta cloro álcali	22
3.2 Descripción de procesos e importancia del sistema de enfriamiento	22
3.3 Proceso productivo actual	42
3.3.1. Proceso de fabricación de cloro-álcali	42

3.3.2. Capacidad de producción	44
3.3.3. Evaluación de la energía a retirar de los diferentes equipos	49
3.4 Optimización energética del sistema de enfriamiento	63
3.4.1. Identificación de las variables críticas del proceso productivo	63
3.4.2. Evaluación y determinación de variables para incrementar la producción	65
3.4.3. Evaluación del desempeño del sistema de enfriamiento en el incremento de producción	66
IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN	69
V CONCLUSIONES	71
VI RECOMENDACIONES	72
VII REFERENCIAS	73
ANEXO 01: Manual de soda cáustica	
ANEXO 02: Manual de cloro	
ANEXO 03: Oxychem chlorine handbook	
ANEXO 04: Voltaje de operación en celdas electrolíticas	
ANEXO 05: Unidad de Agua Sub enfriada (CHILLER)	

I. INTRODUCCIÓN

El presente informe tiene como propósito, evaluar y verificar la capacidad del sistema de enfriamiento existente en una planta cloro-álcali, siendo este un proceso muy importante para mantener el control requerido de las variables críticas de la planta ante un incremento de producción.

La mayor parte de los procesos industriales de producción necesitan agua de enfriamiento para aumentar su eficiencia y reducir sus riesgos. Refinerías, acerías, plantas petroquímicas, plantas termoeléctricas y otras plantas funcionan con equipos o procesos que requieren temperaturas adecuadas para una producción eficiente y correcta. Los sistemas de agua de enfriamiento controlan estas temperaturas transfiriendo calor desde los fluidos calientes originados por los procesos al agua de enfriamiento.

Naturalmente, en el transcurso de esta transferencia el agua se calienta o bien hay que enfriarla antes de usarla de nuevo, o bien hay que reemplazarla gradualmente con un suministro de agua fría. Desafortunadamente, esta agua “fresca” de reposición contiene minerales, tierra, desechos, bacterias y otras impurezas. Más aún, a medida que el agua circula a través del sistema, se van acumulando otros contaminantes.

El agua usada en las aplicaciones de enfriamiento contiene muchas impurezas que pueden causar graves problemas en los sistemas de agua de enfriamiento. Estos problemas incluyen corrosión, incrustaciones, crecimiento microbiológico y ensuciamiento. Para controlar estos problemas es necesario un programa completo de tratamiento del agua de enfriamiento que incluya tanto métodos químicos como mecánicos.

1.1 ANTECEDENTES

Para la realización del presente trabajo se toma como referencia las evaluaciones energéticas realizadas anteriormente en la planta cloro álcali, para la ampliación

del sistema de enfriamiento. Esto nos servirá como base para el balance energético a realizar.

1.2 OBJETIVO

Se efectúa la evaluación energética teórica del proceso, mostrando así, la necesidad de enfriamiento del sistema que permita el incremento de producción de 204 t/día (8.5 t/h) a 217 t/día (9.1 t/h) de NaOH 100% en peso.

1.3 ALCANCE

El estudio también pretende, mediante una serie de propuestas, servir como base para futuros trabajos de incremento de producción en la planta cloro álcali y en diferentes plantas donde se utilicen torres de enfriamiento para remover la energía excedente del sistema.

1.4 JUSTIFICACIÓN

Ante un incremento en la demanda de los productos químicos que se obtienen en una planta cloro-álcali, se presenta la necesidad de un incremento de producción, en el presente trabajo se verificará y evaluará como las variables críticas son afectadas con el incremento de producción y la necesidad de enfriamiento para controlarlas.

Para una explicación clara del presente estudio, se desarrolla el marco conceptual en el capítulo 2, donde se presentará una breve revisión de los aspectos teóricos básicos y específicos que se encuentran involucrados en el trabajo; y en el capítulo 3 se desarrollará con más exactitud el balance de energía para cada área involucrada en el proceso de producción de la planta cloro álcali.

II. MARCO CONCEPTUAL

Para una operación apropiada, todas las plantas necesitan un sistema de circulación de agua para remover el exceso de calor del sistema a fin de transferirlo al medio ambiente.

Además del sistema de circulación, se necesitan equipos de transferencia de calor que se encargaran de remover el calor de los fluidos que así lo requieran.

2.1. ENFRIAMIENTO POR EVAPORACIÓN

Los procesos de enfriamiento por agua son los más antiguos y simples que se conocen. Todo lo que se requiere para enfriar el agua es exponer su superficie al aire. Algunos de estos procesos son lentos, como el enfriamiento del agua de la superficie de un tanque, mientras otros son relativamente rápidos, como cuando se rocía agua al aire. Todos estos procesos comprenden la exposición de la superficie del agua al aire con el grado de eficiencia que varía.

El uso principal del agua en la industria es la remoción del calor para condensar y enfriar los diferentes productos.

2.2. SISTEMAS DE OPERACIÓN GAS LÍQUIDO – TORRES DE ENFRIAMIENTO

La torre de enfriamiento es un dispositivo que emplea el contacto directo entre el elemento disipador y el elemento a disipar (agua y aire atmosférico).

El objetivo no es el procesamiento del aire, sino el procesamiento térmico en el enfriamiento del agua en el estado en que se encuentre.

La torre de enfriamiento tiene una función, remover el calor del agua, para que ésta pueda ser descargada como efluente o para que sea usada nuevamente en el proceso.

Puede afirmarse que la torre de enfriamiento es un dispositivo que respira, esto es, libera calor a los alrededores por evaporación el cual se enfría porque las

moléculas de agua de mayor temperatura se escapan mientras que el agua que se enfría permanece en la torre.

Es por este fenómeno que la torre de enfriamiento es un sistema ampliamente utilizado en la industria para el control de la temperatura.

Por cada libra de agua que una torre de enfriamiento evapora, remueve cerca de 1000 BTU del agua que permanece sin evaporarse en la torre. Para que tome lugar una mayor evaporación, más calor debe ser removido. El calor restante es absorbido por el aire debido a su incremento de temperatura, pero este intercambio de calor sensible es menor comparado con el componente latente proporcionado por el cambio de fase.

Para que la evaporación se lleve a cabo, se coloca agua caliente con el aire del medio ambiente que debe tener una humedad relativamente baja.

Si se desea reducir la temperatura en grandes cantidades de agua de un modo controlado y eficiente, las torres de enfriamiento sirven para éste propósito, ya que los parámetros que intervienen en ellas, están diseñados para que cumplan esta función específica.

Una torre de enfriamiento convencional funciona de la siguiente manera:

Por una tubería situada en la parte superior de la torre que se encuentra conectada a un distribuidor, circula el agua caliente a una temperatura, luego es distribuida en forma de pequeñas gotas en dispositivos diseñados para éste propósito, éstos dispositivos vienen en rellenos de diferentes tipos y calidades, variando desde maderas curadas hasta materiales de fibrocemento, polivinilcloruro (pvc), cerámica, etc; los cuales son ubicados en forma de mallas o en forma de panales que le dan cierta desviación a la trayectoria de la corriente de agua al pasar por ellas y además se obtiene un área de máxima transferencia con el aire atmosférico, el cual entra en la parte inferior de la torre debido a la succión que realiza el ventilador desde la parte superior.

Cuando se produce el descenso de la temperatura del agua dentro de la torre, al pasar por ella, sólo una pequeña fracción de agua se pierde por evaporación en el fenómeno de transferencia de calor, la mayor parte del agua que se pierde por evaporación es por transferencia de masa, la cual se produce cuando el aire que

circula en contracorriente entra en contacto con el agua llevando consigo parte de ésta hasta el medio ambiente. El remanente de agua al llegar al final de la torre se deposita o recolecta en una poza para ser succionada por una bomba retornará, el agua ya enfriada, al proceso.

2.3. EQUIPOS DE INTERCAMBIO DE CALOR

En los sistemas químicos, en especial en una planta cloro álcali, ocurre que el calor debe ser transferido de un lugar a otro, o bien, de un fluido a otro. Los intercambiadores de calor son los dispositivos que permiten realizar dicha tarea. Un entendimiento básico de los componentes mecánicos de los intercambiadores de calor es necesario para comprender cómo estos funcionan y operan para un adecuado desempeño.

Un intercambiador de calor es un componente que permite la transferencia de calor de un fluido (líquido o gas) a otro fluido. Entre las principales razones por las que se utilizan los intercambiadores de calor se encuentran las siguientes:

- Calentar un fluido frío mediante un fluido con mayor temperatura.
- Reducir la temperatura de un fluido mediante un fluido con menor temperatura.
- Llevar al punto de ebullición a un fluido mediante un fluido con mayor temperatura.
- Condensar un fluido en estado gaseoso por medio de un fluido frío.
- Llevar al punto de ebullición a un fluido mientras se condensa un fluido gaseoso con mayor temperatura.

Las aplicaciones de los intercambiadores de calor son muy variadas, como hemos visto y por eso reciben diferentes nombres:

- **Intercambiador de Calor:** Realiza la función doble de calentar y enfriar dos fluidos.
- **Condensador:** Condensa un vapor o mezcla de vapores.

- **Enfriador:** Enfría un fluido por medio de agua.
- **Calentador:** Aplica calor sensible a un fluido.
- **Re hervidor:** Conectado a la base de una torre fraccionadora proporciona el calor de re-ebullición que se necesita para la destilación. (Los hay de termosifón, de circulación forzada, de caldera, etc.)
- **Vaporizador:** Un calentador que vaporiza parte del líquido.

En planta se utilizan tres tipos de intercambiadores de calor (enfriadores):

Tubo Doble

Es el tipo más sencillo de intercambiador de calor. Está constituido por **dos tubos concéntricos** de diámetros diferentes. Uno de los fluidos fluye por el tubo de menor diámetro y el otro fluido fluye por el espacio anular entre los dos tubos.

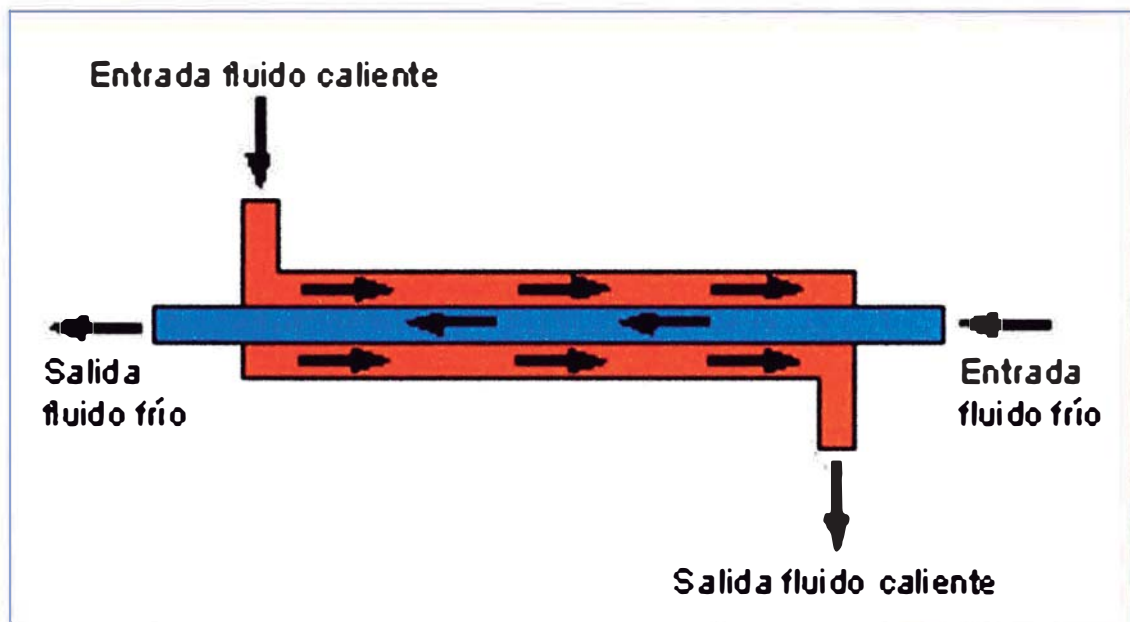


Figura N°01. Intercambiador de calor. Tubo Doble

En este tipo de intercambiador son posibles dos configuraciones en cuanto a la dirección del flujo de los fluidos: contraflujo y flujo paralelo.

En la configuración en flujo paralelo los dos fluidos entran por el mismo extremo y fluyen en el mismo sentido.

En la configuración en contraflujo los fluidos entran por los extremos opuestos y fluyen en sentidos opuestos.

En la evaluación realizada a la planta se encuentran intercambiadores de calor de tubo doble que utilizan la configuración en contraflujo como se muestra en la figura N° 01.

Tipo carcasa y tubos

La construcción más básica y común de los intercambiadores de calor es el de tipo tubo y carcasa que se muestra en la figura N° 02.

Este tipo de intercambiador consiste en un conjunto de tubos en un contenedor llamado carcasa. El flujo de fluido dentro de los tubos se le denomina comúnmente flujo interno y aquel que fluye en el interior del contenedor como fluido de carcasa o fluido externo. En los extremos de los tubos, el fluido interno es separado del fluido externo de la carcasa por la(s) placa(s) del tubo. Los tubos se sujetan o se sueldan a una placa para proporcionar un sello adecuado. En sistemas donde los dos fluidos presentan una gran diferencia entre sus presiones, el líquido con mayor presión se hace circular típicamente a través de los tubos y el líquido con una presión más baja se circula del lado de la cáscara. Esto es debido a los costos en materiales, los tubos del intercambiador de calor se pueden fabricar para soportar presiones más altas que la cáscara del cambiador con un costo mucho más bajo. Las placas de soporte (support plates) mostradas en figura N° 02 también actúan como baffles para dirigir el flujo del líquido dentro de la cáscara hacia adelante y hacia atrás a través de los tubos.

Tipo placa.

Llamados también intercambiadores compactos. Pueden ser de diferentes tipos:

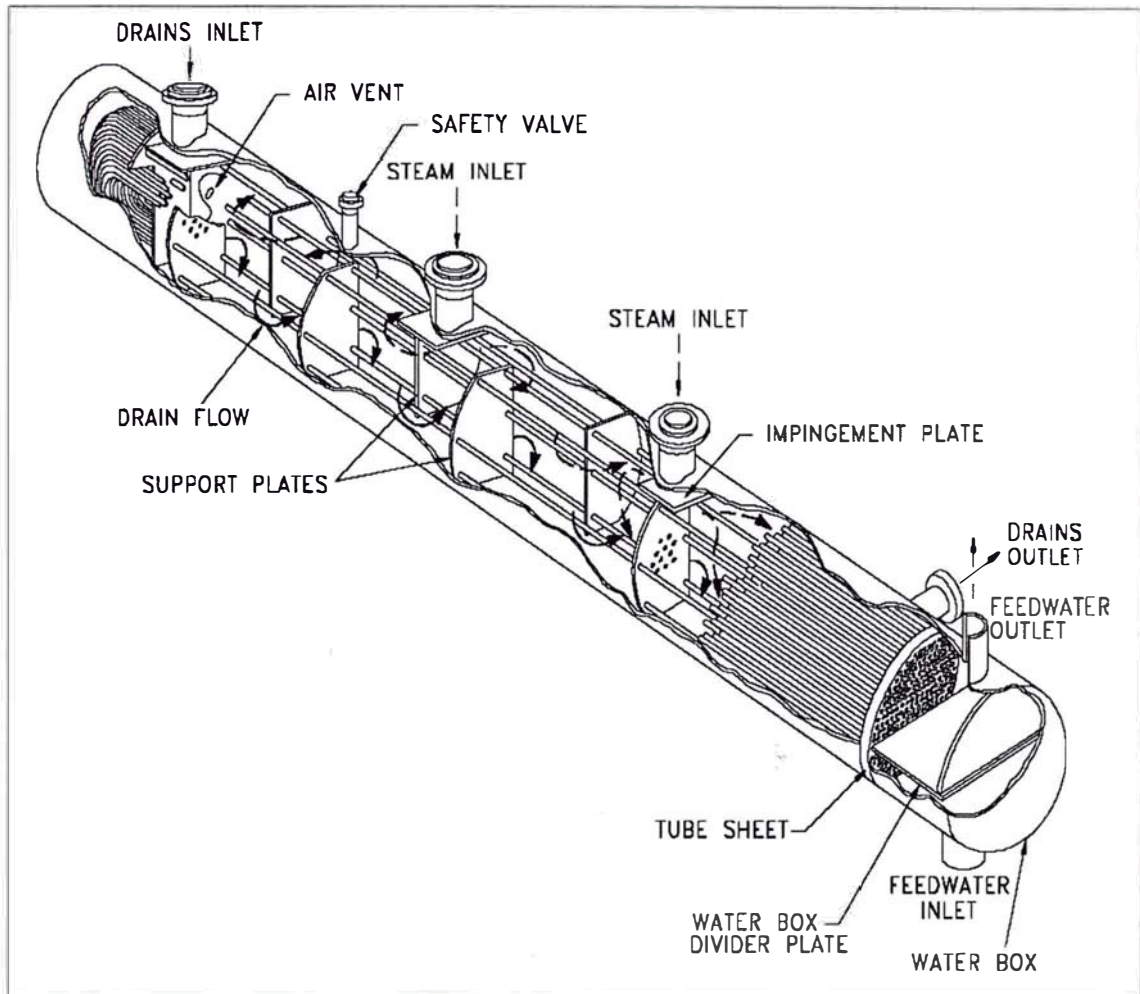


Figura N° 02. Intercambiador de Calor Carcasa y tubos.

- Intercambiadores de tipo placa y armazón (*plate-and-frame*) similares a un filtro prensa.
- Intercambiadores de aleta de placa con soldadura (*plate fin*).

El intercambiador de calor de tipo placa, como se muestra en la figura N° 03, consiste de placas en lugar de tubos para separar a los dos fluidos caliente y frío.

Los líquidos calientes y fríos se alternan entre cada uno de las placas y los baffles dirigen el flujo del líquido entre las placas. Ya que cada una de las placas tiene un área superficial muy grande, las placas proveen un área extremadamente grande de transferencia de térmica a cada uno de los líquidos.

Por lo tanto, un intercambiador de placa es capaz de transferir mucho más calor con respecto a un intercambiador de carcasa y tubos con volumen semejante, esto es debido a que las placas proporcionan una mayor área que la de los tubos.

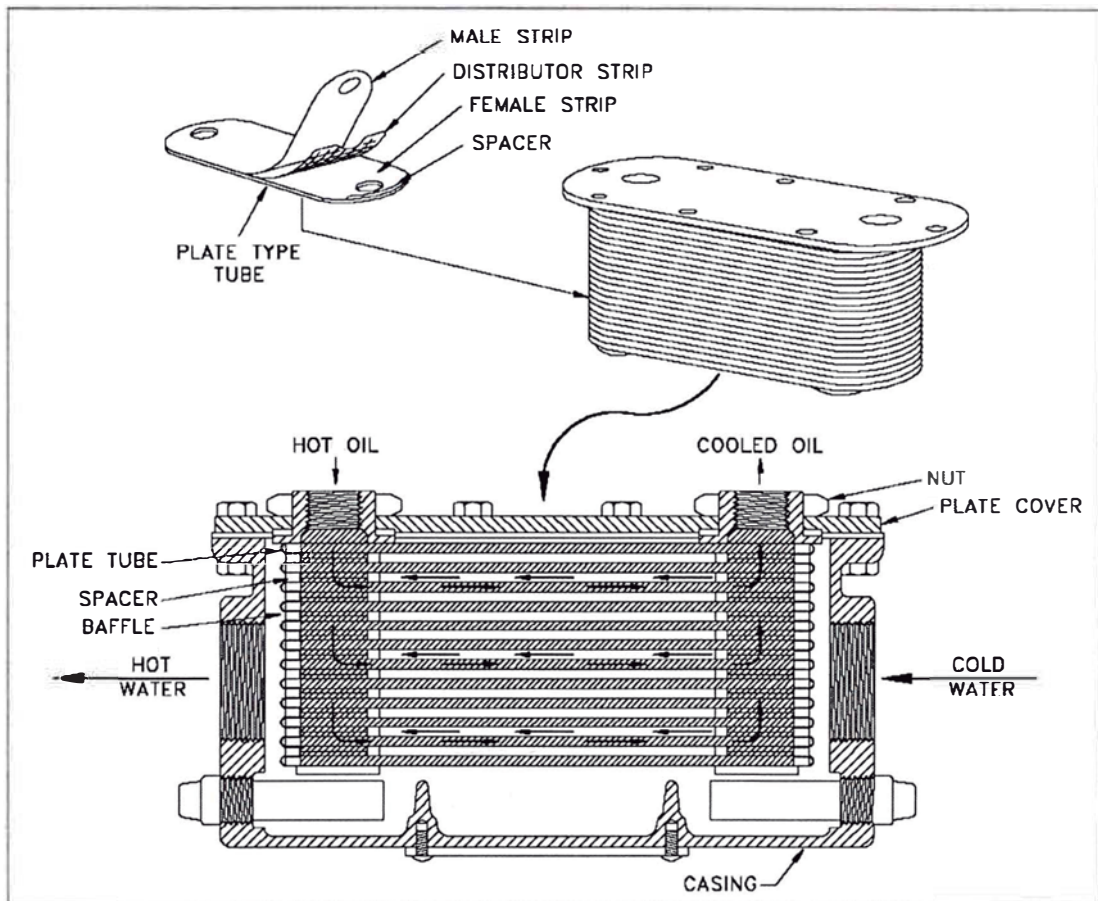


Figura N° 03. Intercambiador de calor tipo placas.

El intercambiador de calor de placas, debido a la alta eficacia en la transferencia de calor, es mucho más pequeño que el de carcasa y tubos para la misma capacidad de intercambio de calor.

Admiten una gran variedad de materiales de construcción, por esta razón, están limitados a presiones pequeñas.

2.4. BALANCE ENERGÉTICO

Al diseñar o estudiar un proceso no solo se requiere identificar materiales, capacidad de las unidades, conectividad y demás aspectos involucrados e imprescindibles para ello. Es preciso tomar en consideración las cantidades de materia que será tratadas en dichas unidades y que serán transformadas en otros productos, así como el consumo o producción energética asociados al proceso en cuestión.

Es por esta razón que se debe conocer y saber determinar los requerimientos energéticos de algún proceso que se esté diseñando o estudiando.

Procesos en los cuales el objetivo es la recuperación máxima del calor (por ejemplo, en el calentamiento o enfriamiento de un fluido), en la producción efectiva de calor en hornos y calderas, en el cálculo del consumo de combustible de una maquinaria para producir trabajo y calor, es imprescindible el análisis energético.

La energía propia del sistema se puede manifestar como energía cinética, energía potencial, energía interna y entalpía.

La energía cinética es aquella debida al movimiento traslacional de un sistema respecto de un determinado marco de referencia. Se define como el trabajo necesario para acelerar un cuerpo de una masa dada desde su posición de equilibrio hasta una velocidad dada.

La energía potencial es la que se debe a la posición del sistema en estudio respecto de un campo de potencia (gravitacional o electromagnético). En este trabajo, solo se considera dicha energía respecto de un campo gravitacional.

La energía interna de un sistema corresponde a todas las formas de energía, además de las anteriormente explicadas, debidas al movimiento de las moléculas con respecto al centro de masa del sistema, al estado de agregación de las mismas y otros fenómenos que ocurren en el sistema a escala microscópica, es decir a nivel de átomos y moléculas. Esta energía se suele calcular a partir de información suministrada por variables macroscópicas como la presión, el volumen, la temperatura y composición.

La entalpía o contenido de calor es otra forma de energía que se define como la combinación de dos variables que frecuentemente aparecen en los balances de energía termodinámicos:

$$H = U + PV \quad \dots \quad (1)$$

El principio fundamental de los balances de energía es la primera ley de conservación de la energía o Primera Ley de la Termodinámica. En su forma más general, esta ley señala que la velocidad a la cual las corrientes de entrada llevan la energía (potencial, cinética e interna) al sistema, menos la velocidad a la cual la energía sale del sistema a través de las corrientes de salida, más la velocidad a la cual la energía entra al sistema en forma de calor, más la velocidad a la cual se hace trabajo sobre el sistema, es igual a la velocidad de acumulación de energía (potencial, cinética e interna) en dicho sistema.

2.5. SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO Y BALANCE ENERGÉTICO

La refrigeración se realiza mediante unos enfriadores que utilizan agua como fluido frío que retirará el calor necesario.

Normalmente el proceso de enfriamiento incluye la transferencia de calor entre dos fluidos. El calor que pasa a través de un tubo de metal y la capacidad del metal para conducir el calor determina la eficiencia del intercambiador de calor. Para todos los fines prácticos, habitualmente existen dos situaciones.

En primer lugar, hay una transferencia de calor entre dos materiales ninguno de los cuales cambia de estado durante el proceso de calentamiento o enfriamiento. En segundo lugar, hay materiales que cambian de fase (por ejemplo, evaporación) y desprenden o absorben calor en el proceso.

El intercambio de calor entre materiales (por ejemplo, dos líquidos: benceno y agua) se describe normalmente por las cantidades de calor intercambiadas y las propiedades térmicas de los materiales, tales como la capacidad térmica, calor de vaporación y las temperaturas a las cuales existen diversos gases y líquidos.

Calor específico

Se define el calor específico como la cantidad de energía térmica o el número de kilocalorías (kcal) necesarias para elevar la temperatura de 1 kg (1 lb) de agua en 1°C (1°F). La unidad de medida asociada con el calor específico es la kcal/kg-°C (BTU/lb-°F). Cuando las sustancias cambian de temperatura, se gana o se pierde calor. La cantidad de calor intercambiado se puede determinar mediante la siguiente ecuación:

$$Q = mC_p\Delta T \quad \dots \quad (2)$$

Siendo:

Q = Calor, kcal o kcal/hora (BTU o BTU/hora).

m = Masa o flujo de masa de la sustancia, kg o kg/hora (lb o lb/hora).

C_p = Calor específico, kcal/kg-°C (BTU/lb-°F).

Por ejemplo, si 4.536 kg (10 libras) de agua se calientan desde 38°C hasta 49°C (100°F a 120°F), la cantidad de calor absorbida por el agua es:

$$Q = mC_p\Delta T$$

$$Q = 4.536 \text{ Kg} \times 1 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} \times (38 - 49)^\circ\text{C}$$

$$Q = -49.896 \text{ kcal}$$

De forma similar si se tratara de un flujo de masa (4.536 kg/hora), el calor absorbido sería Q = 49.896 kcal/hora.

Entalpía

El concepto de entalpía se deriva del calor específico y se define como el contenido de calor de cada kilogramo (libra) de una sustancia a una temperatura

particular. Se asume que el agua a 0°C (32°F) no posee ningún valor térmico considerable. Por lo tanto, para determinar la entalpía (h) o contenido térmico del agua a una temperatura dada, se multiplica su calor específico por la temperatura:

$$h = Cp(T - 32), \text{ en unidades de EE.UU.}$$

Siendo $T = ^\circ\text{F}$.

$$h = Cp(T), \text{ en unidades métricas.}$$

Siendo $T = ^\circ\text{C}$.

En el sistema métrico, la entalpía del agua es equivalente a su temperatura expresada en kcal/kg. Puesto que $Cp \approx 1 \text{ BTU/lb-}^\circ\text{F}$ en unidades de EE.UU., la entalpía del agua se determina fácilmente restando 32 de su temperatura y expresando su valor como BTU/lb.

Mostramos a continuación un ejemplo de cálculo, mediante calor específico y entalpía.

Ejemplo: Se calienta agua en un intercambiador de calor desde 49°C a 65.5°C, con un caudal de 2272 m³/hora (10.000 gpm). ¿Cuánto calor absorbe el agua?

Este ejemplo se puede resolver de dos maneras.

Para la primera solución aplicamos la ecuación siguiente:

$$Q = mCp\Delta T$$

Siendo:

$$m = 2272 \text{ m}^3/\text{hora}$$

$$\Delta T = (65.5 - 49) = 16.5^\circ\text{C}$$

Por lo tanto,

$$Q = 2272 \frac{m^3}{h} \times 1 \frac{kcal}{kg^\circ C} \times 16.5^\circ C$$

$$Q = -37488 \frac{kcal}{h}$$

También se puede resolver el ejercicio utilizando el cambio de entalpía del agua, a las temperaturas dadas:

$$\Delta h = (65.5 - 49) = 16.5 \frac{kcal}{kg}$$

$$Q = m\Delta h$$

$$Q = 2272 \frac{m^3}{h} \times 16.5 \frac{kcal}{kg}$$

$$Q = -37488 \frac{kcal}{h}$$

Calor de vaporización

Cualquier sustancia puede experimentar un cambio de fase; es decir, puede cambiar de sólido a líquido o de líquido a vapor. La cantidad de calor que hay que suministrar a una sustancia para convertirla de líquido a gas se llama calor de vaporización (ΔH_v) de la sustancia. Por ejemplo, el agua se vaporiza a $100^\circ C$ ($212^\circ F$), a presión atmosférica. El calor de vaporización asociado al agua es 539.6 kcal/kg (970 BTU/lb). Este valor es mucho más alto que el calor de vaporización de otras sustancias, a causa del fenómeno del puente de hidrógeno y su importancia en el agua. Cuando la temperatura del agua baja, el calor de vaporización aumenta. Hace falta más energía para vaporizar una gota de agua fría que una gota de agua caliente.

A medida que el agua se evapora en una torre de enfriamiento, extrae calor de vaporización de la masa de agua que la rodea. De modo similar, en un condensador, el agua de enfriamiento se usa para extraer el calor de vaporización de un gas.

El calor de vaporización del agua a temperaturas típicas para el agua de enfriamiento (40 a 50°C, 100 a 120°F) es de 575 a 569 kcal/kg (1037 a 1026 BTU/lb). Las torres de enfriamiento extraen calor creando grandes superficies específicas en pequeñas gotitas de agua, lo cual aumenta al máximo la cantidad de vaporización forzando el aire alrededor de la superficie de la gota.

Como el calor específico del agua tiende a 1 kcal/kg-°C, la vaporización de 1 kilogramo de agua enfría 57 kilogramos de agua desde 50 a 40°C; en unidades de EE.UU., el calor específico del agua es 1 BTU/lb-°F y la vaporización de 1 libra de agua enfría 51.3 libras de agua desde 120 a 100°F.

Este enfriamiento “extra” de la masa de agua es el resultado del calor utilizado para vaporizar el agua.

2.6. ELECTRÓLISIS DEL CLORURO DE SODIO EN CELDAS DE AMALGAMA

La electrólisis es el proceso que separa los elementos de un compuesto por medio de la electricidad. En ella ocurre la captura de electrones por los cationes en el cátodo (una reducción) y la liberación de electrones por los aniones en el ánodo (una oxidación).

La soda caustica es producida como un coproducto de cloro en el proceso electrolítico de la salmuera del cloruro de sodio empleando celdas de diafragma, celdas de mercurio y celdas de membrana.

Tecnología de celdas de Mercurio.

Una alternativa de método de producción de cloro y soda caustica involucra el uso de las celdas de mercurio, cuya reacción catódica difiere de lo ocurrido en las celdas de diafragma.

La celda de mercurio consiste en dos unidades primarias, el electrolizador y el descomponedor o desamalgamador.

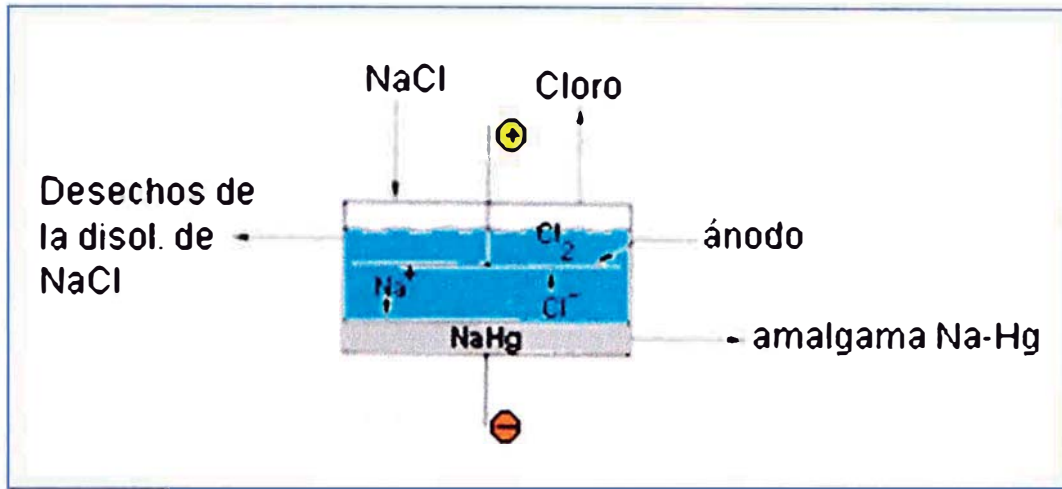
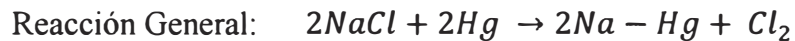
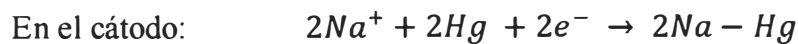


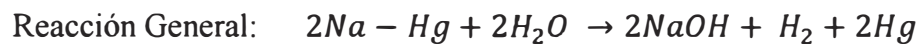
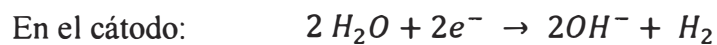
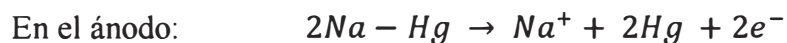
Figura N° 04. Celda electrolítica de mercurio.

Las principales reacciones electroquímicas son las siguientes:

En el electrolizador:



En el descomponedor:



El proceso en general involucra un flujo de salmuera saturada y purificada a través de un elemento alargado ligeramente inclinado, entre un flujo concurrente superficial de mercurio y un conjunto de electrodos (grafito o metal), cuya superficie baja está cerca de la superficie del mercurio y paralela a ella. La celda está provista a su largo de una cubierta hermética a los gases que también sirven de soporte de los ánodos. Durante la electrólisis, el cloro es liberado en los ánodos, mientras los iones sodio son descargados en la superficie del cátodo de

mercurio para formar una amalgama de sodio de baja concentración (0.10 – 0.35% Na). Así, los iones sodio están casi completamente impedidos de reaccionar con el electrolito acuoso para formar soda cáustica o que disuelva cloro para reformar cloruro de sodio. La amalgama reacciona con el agua en el descomponedor para formar un concentrado caustico puro, forma también hidrógeno en su estado gaseoso como parte de la reacción.

Las celdas de mercurio producen soda cáustica al 50% en peso y también puede producir encima de 70% de concentración en peso de soda caustica. Esta soda es de alta pureza con pocos ppm de sal y menos de 5 ppm de clorato de sodio. Sin embargo, lleva trazas de mercurio y por lo tanto muchos clientes no aceptan la soda cáustica a partir de celdas de mercurio.

La electrólisis con celdas de amalgama fue el primer método empleado para producir cloro a escala industrial y es el que utiliza actualmente en la planta cloro-álcali.

2.7. TRATAMIENTO DE PRODUCTOS OBTENIDOS EN LA REACCIÓN ELECTROLÍTICA

Como consecuencia del proceso electrolítico de la solución de cloruro, como se observa en las reacciones electroquímicas, se obtienen tres productos principales, tal como son el cloro gaseoso, soda caustica liquida y el hidrógeno en su forma gaseosa.

Estos productos pueden ser vendidos directamente o pasar por otros procesos químicos para obtener los productos deseados, en cualquiera de los dos casos, deben pasar por otros tratamientos y acondicionarse a su futura venta y/o proceso.

Los tratamientos y/o procesamientos de los productos obtenidos a partir de la electrólisis de la solución de cloruro de sodio se muestran en el siguiente diagrama, figura N° 05.

Después de las celdas electrolíticas de amalgama, en donde se produce la soda caustica al 50% en peso, cloro gaseoso, hidrógeno en forma de gas, como se muestran en las reacciones químicas anteriormente vistas, se necesita que estos

productos pasen por sistemas de tratamiento para su utilización final en la producción de otros productos y/o para su venta final como producto terminado.

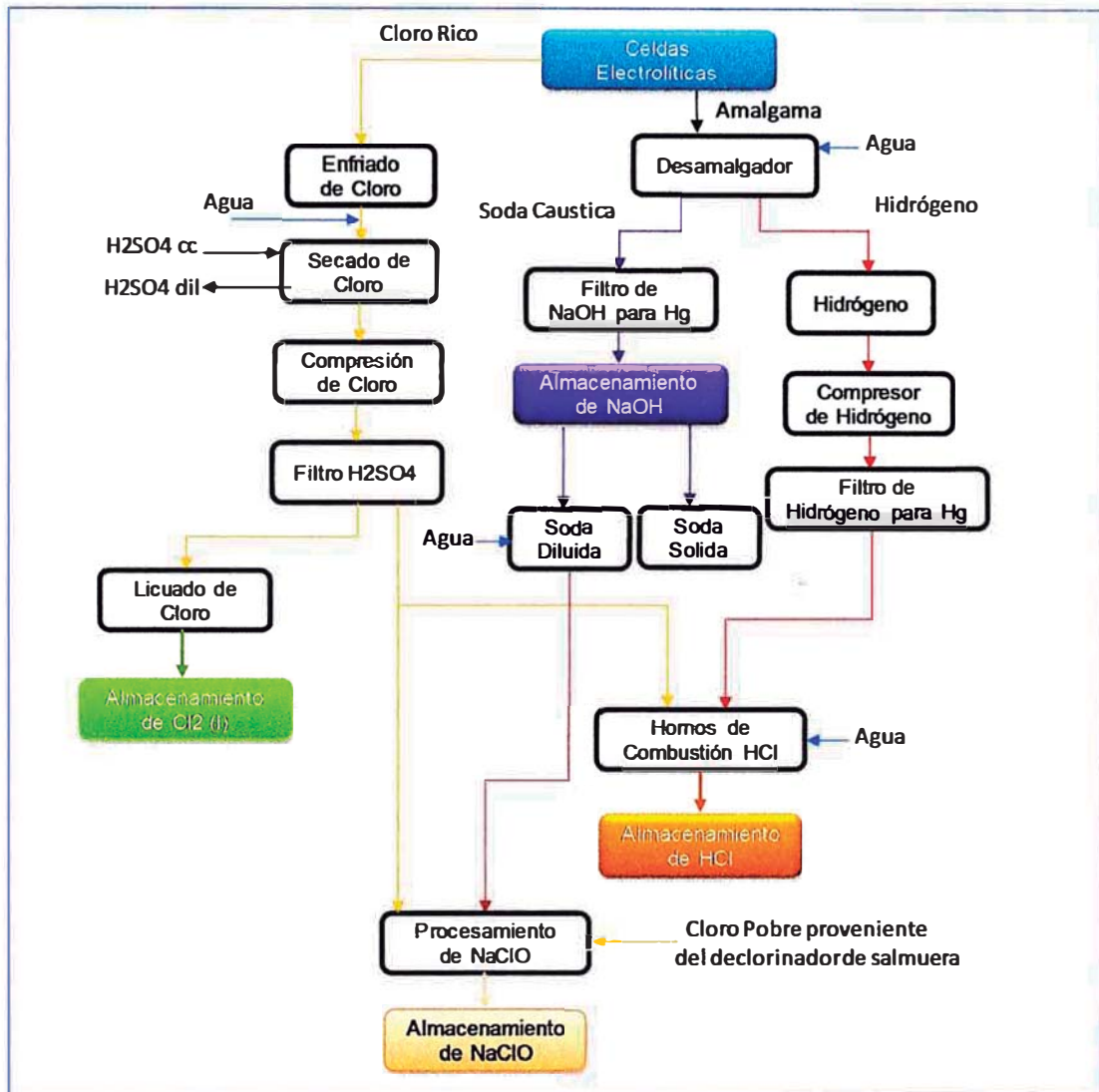


Figura N° 05. Diagrama de flujo procesamiento de productos de electrolisis.

Tratamiento de Soda Cáustica

La soda caustica al 50% en peso obtenida en el proceso electroquímico ocurrido en las celdas electrolíticas, es vendido como producto terminado, pero primero debe pasar por un proceso de enfriamiento, para luego ingresar a un sistema de filtración, eliminando así las trazas de mercurio contenidas, finalmente se enfría

nuevamente para poder ser almacenado en tanques y vendido finalmente a los clientes.

Tratamiento del cloro gaseoso

El cloro proveniente de las celdas electrolíticas tiene alta temperatura, la cual se debe disminuir para su posterior uso en la producción de ácido clorhídrico, HCl, e hipoclorito de Sodio, NaClO, entonces este cloro gas caliente pasa por unos enfriadores primarios que utiliza agua proveniente del sistema de enfriamiento y por los enfriadores secundarios que utiliza como fluido de enfriamiento, agua sub enfriada.

El cloro pasa entonces por un desalinizador, para luego pasar por unas torres de secado que se encargarán de eliminar casi toda la humedad contenida en este gas.

Siguiendo con el proceso, el cloro pasa por un sistema de compresión, los equipos de compresión utilizan al ácido sulfúrico como sello líquido para poder hacer más eficaz el proceso. Éste ácido sulfúrico gana temperatura luego de la compresión, la cual se retira por medio de enfriamiento mediante agua, en un intercambiador de calor.

Por último este cloro pasa por unos filtros para retirar las trazas de ácido sulfúrico que pudiera contener y queda al final del tratamiento un gas cloro comprimido, seco y listo para ser utilizado en la producción de ácido clorhídrico, hipoclorito de sodio y también para la producción de cloro líquido.

Tratamiento del Hidrógeno gaseoso

Al igual que el cloro, el hidrógeno proveniente de las celdas electrolíticas contiene humedad a alta temperatura.

Para que este hidrógeno pueda ser utilizado en la síntesis de ácido clorhídrico, se debe enfriar y luego pasar por un deshumidificador, pasando luego por un sistema de compresión del gas y finalmente ingresar a los hornos de síntesis de ácido clorhídrico.

2.8. SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA CONSUMIDA EN EL PROCESO ELECTROLÍTICO

En el proceso de electrólisis como ya es conocido, utiliza energía en forma de corriente continua. Para esto, las celdas electrolíticas serán conectadas en serie con los grupos transformadores-rectificadores, que serán los encargados de adecuar la energía eléctrica suministrada y transformarla en corriente eléctrica continua ideal para poder realizar la electrólisis de la solución de cloruro de sodio. Éstos transformadores-rectificadores de potencia cuentan con un sistema de enfriamiento, esto se realiza para prevenir el rápido deterioro de los materiales aislantes dentro del mismo.

2.9. SECCIÓN DE ENFRIAMIENTO

El sistema de enfriamiento en forma general de la Planta Cloro-Álcali se muestra en la figura N°06.

Se cuenta con cinco módulos de enfriamiento, con capacidad de enfriamiento máxima de 330 m³/h de agua cada uno que nos dan una gradiente de temperatura de 10 °C.

El agua caliente proveniente de toda la planta se mezcla al ingreso de los módulos de enfriamiento. El agua caliente ingresa a los cinco módulos en forma paralela. La temperatura de ingreso general es de 34 °C. El agua se enfría y baja su temperatura hasta 24 °C.

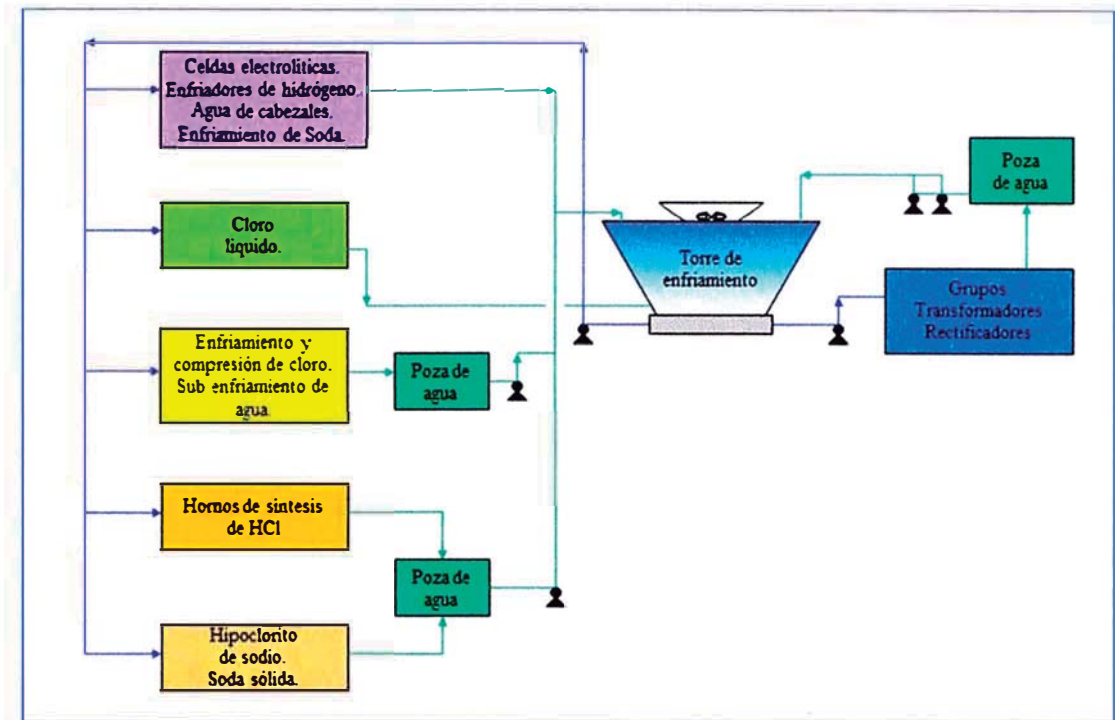


Figura N°06. Sistema de Enfriamiento

El análisis realizado se basa en los equipos, intercambiadores de calor, que se encuentran en cada una de las secciones mostradas en la figura N°06.

Se realizará el análisis energético y las demandas de enfriamiento necesarias en el contexto de la planta al aumentar la producción.

III. EVALUACIÓN ENERGÉTICA DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO PARA INCREMENTO DE PRODUCCIÓN EN UNA PLANTA DE CLORO-ÁLCALI

3.1. PROCESO DE PRODUCCIÓN Y EL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO

Como se puede observar en la figura N° 06 (capítulo anterior), es necesario el enfriamiento en los grupos transformadores rectificadores conjuntamente con el requerimiento de enfriamiento en cada una de las secciones de la planta, tanto en la etapa de electrolisis como para los tratamientos que se deben realizar en cada uno de los productos obtenidos de este proceso. Es necesario también para el proceso de producción de los productos terminados tales como el ácido clorhídrico, hipoclorito de sodio y cloro líquido.

A continuación se describirá en detalle el proceso productivo en la planta cloro álcali, además se mencionará porque la importancia y necesidad de enfriamiento en cada una de las secciones.

3.2. DESCRIPCIÓN DE PROCESOS E IMPORTANCIA DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO

La energía utilizada en el proceso electrolítico proviene del sistema interconectado nacional. Siendo la alimentación de la energía eléctrica a 60 kV, los transformadores de potencia la convierten en 10 kV. Un sistema de transformación rectificación permite obtener un suministro de corriente continua y un voltaje adecuado a los requerimientos de las celdas electrolíticas. Evitando el deterioro de los materiales aislantes en el interior de un transformador, se debe disponer de un adecuado sistema de enfriamiento en los devanados y el núcleo. Uno de los medios más satisfactorios de refrigeración consiste en sumergir en aceite, las partes del transformador que funcionan, lo cual sirve para el doble propósito de facilitar la extracción de calor del núcleo y devanados y al propio tiempo proporcionar unas propiedades aislantes apreciablemente buenas.

El calor extraído por el aceite es disipado en un intercambiador aceite-agua. El aceite caliente del tanque del transformador es bombeado hacia un intercambiador de calor donde fluye a través de tubos que están en contacto con agua fría.

Los grupos transformadores rectificadores están compuestos de este sistema, el agua caliente que sale del intercambiador de calor es enviada al sistema de enfriamiento de la planta para su posterior recirculación.

Sección de Electrólisis

El proceso de electrólisis de la solución de Cloruro de sodio se realiza específicamente en las celdas electrolíticas, donde energía en forma de electricidad es empleada para la que pueda dar lugar la reacción de descomposición del cloruro de sodio. Ésta energía tiene como consecuencia el incremento de temperatura en la solución de cloruro de sodio, la cual es regulada mediante el incremento de flujo de dicha solución, pero también incrementa la temperatura del cátodo de Hg. Estas celdas están compuestas por dos cabezales, uno de entrada y otro de salida, como se puede observar en la figura N° 07, la función del cabezal de entrada y salida son la de distribuir uniformemente el Hg en la celda y recolectar el Hg proveniente de la celda para luego ser colectado y enviado al desamalgamador, respectivamente. Como un método de prevención para mantener la temperatura, evitando también que el mercurio metálico sufra evaporación, en los cabezales, tanto el de entrada como el de salida, se les hace ingresar agua desmineralizada.

Como se observa en figura N° 07, las celdas electrolíticas de amalgama requieren enfriamiento en el área de los cabezales de entrada y salida de la misma celda para regular su temperatura y también en la salida del hidrógeno, en el desamalgamador.

El hidrógeno producido en el desamalgamador (descomponedor), tiene una temperatura muy alta que llega aproximadamente a 90 °C, por lo que es necesario un enfriamiento para recuperar el posible Hg evaporado y contenido en el gas producido.

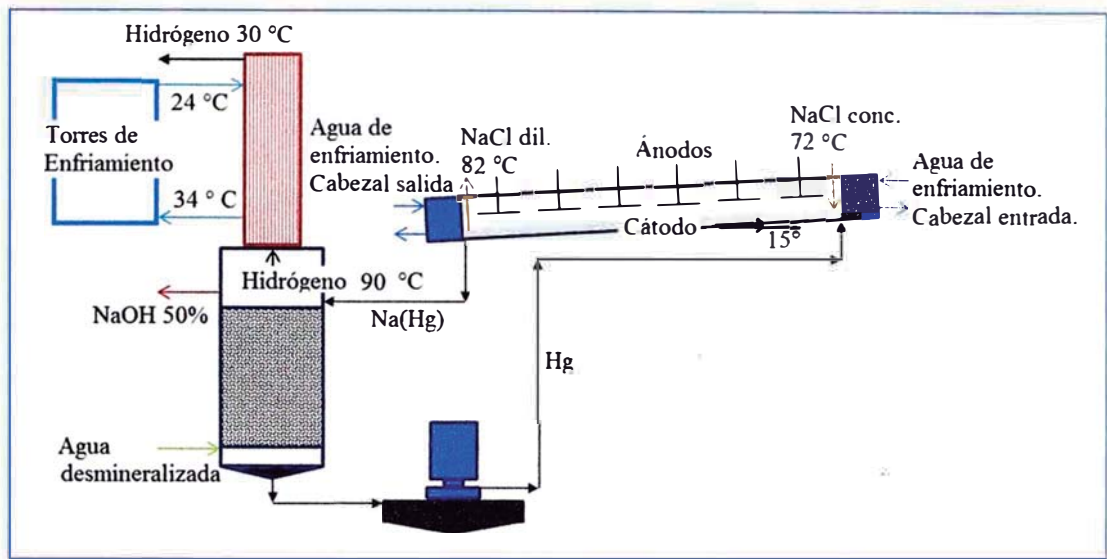


Figura N°07. Celda Electrolítica.

En la figura N° 07 se observa que el intercambiador de calor de hidrógeno es enfriado directamente con el agua proveniente del sistema de enfriamiento, mientras que la sección de los cabezales de entrada y salida de Hg de la celda electrolítica es enfriado con agua desmineralizada que a su vez es enfriada en los intercambiadores de calor de placas con agua proveniente del sistema de enfriamiento, así se observa en la figura N°08, cada celda tiene un sistema de enfriamiento para el cabezal de entrada y salida respectivamente.

Para el estudio, el flujo de agua de enfriamiento de cabezales, tanto el de entrada como el de salida son de 50 L/h. En el cabezal de entrada, la temperatura de ingreso de agua desmineralizada es 40°C y sale a 60°C. En el Cabezal de salida la temperatura de ingreso de agua desmineralizada es de 40°C y la salida es de 70°C.

Este agua es utilizada como un sello, pues el mercurio metálico tiende a evaporarse a las temperaturas antes mencionadas, quien ayuda a mantener la temperatura es el propio flujo de salmuera (solución de cloruro de sodio) que ingresa a la celda electrolítica y que está en contacto con el mercurio.

La Sección de electrólisis cuenta con 40 unidades (Celdas) de electrólisis de salmuera, idénticas a las mostradas en la figura N°07.

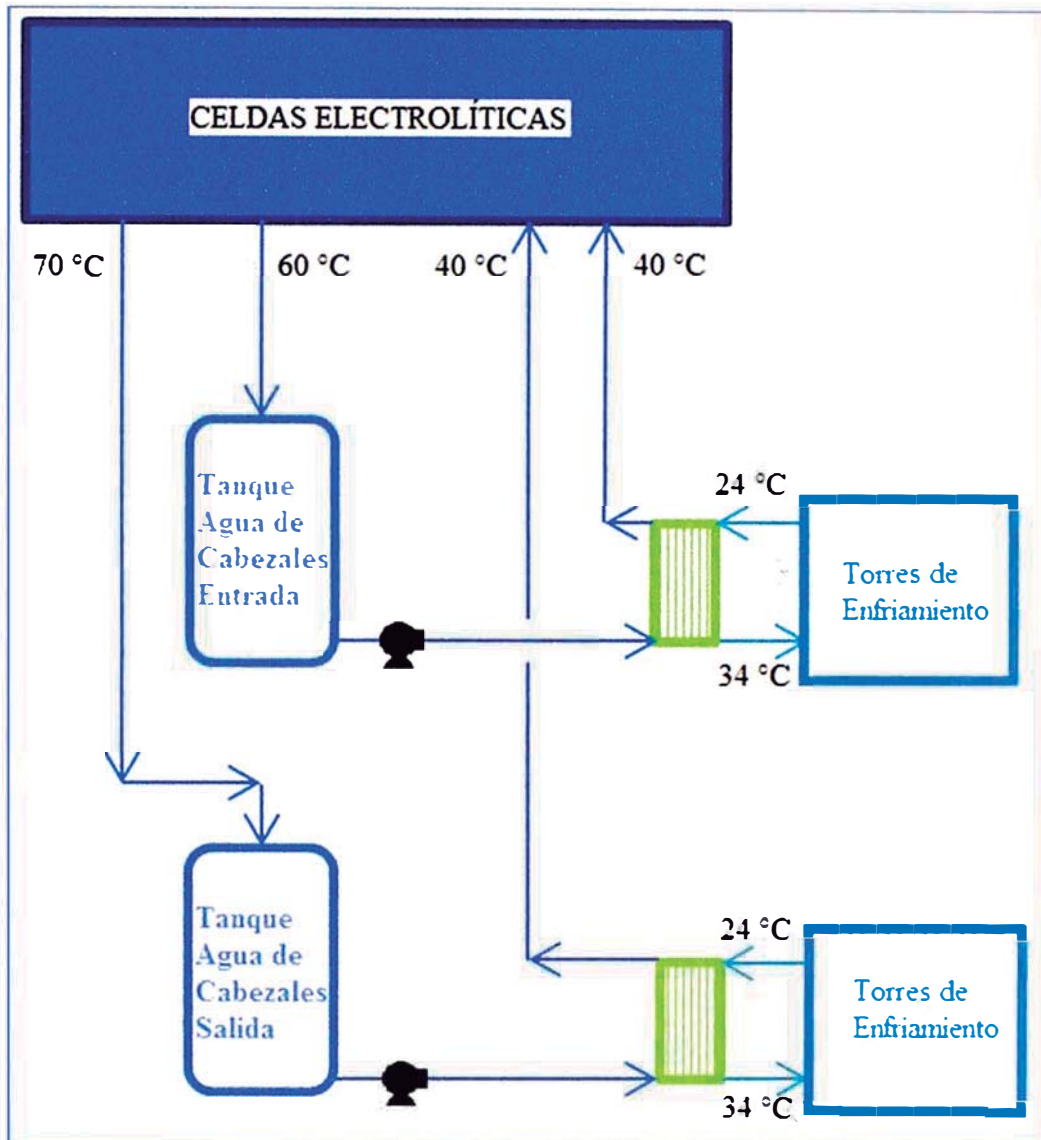


Figura N°08. Sistema de enfriamiento de agua de cabezales de celdas.

El agua de enfriamiento de los cabezales de entrada y salida, se colectan en tanques de donde son bombeados pasando por sus respectivos intercambiadores de calor y llegar nuevamente a los cabezales para así cerrar el circuito de enfriamiento.

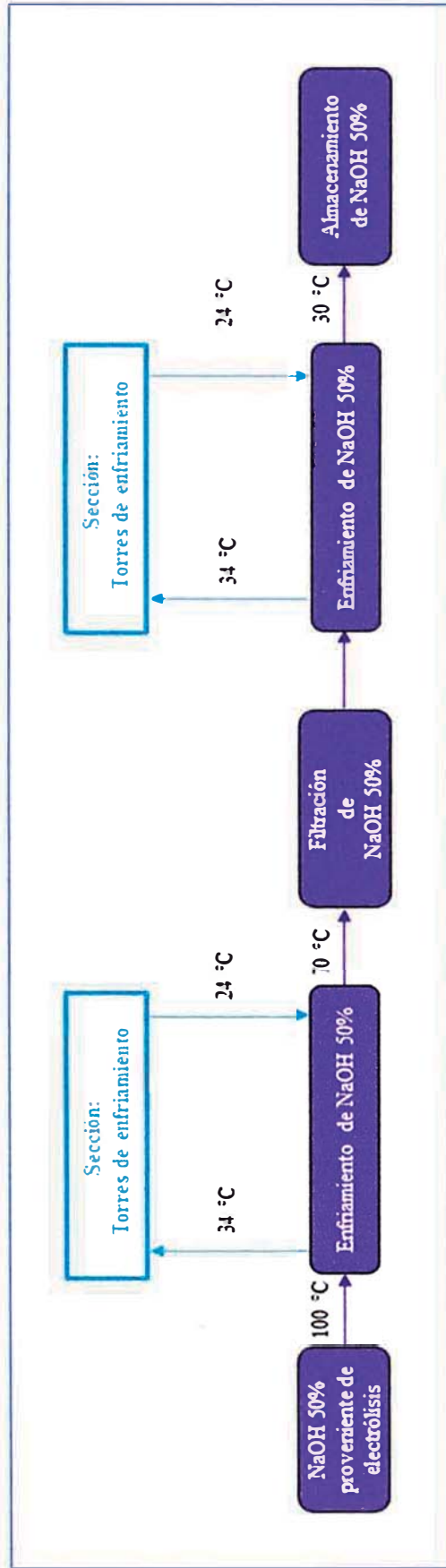


Figura N° 09. Tratamiento de Soda Caustica.

Sección de enfriamiento de Soda

La soda cáustica líquida producida en las celdas electrolíticas sale alrededor de 100 °C y se enfría hasta 70 °C que es la temperatura óptima de operación de los filtros de soda.

La filtración de soda cáustica líquida se realiza con la finalidad de retener las partículas de mercurio que se encuentran en suspensión en la soda cáustica, en forma adicional se retiene las partículas de grafito.

Para el filtrado de soda cáustica se dispone de 2 líneas de filtración, línea A y B, cada línea cuenta con dos filtros en serie, que se denominan filtro primario y secundario.

La soda cáustica se alimenta al filtro primario y secundario en ese orden. La soda cáustica ingresa al filtro por la parte inferior y sale por la parte superior.

La soda cáustica luego de ser filtrada, se deriva al tanque colector de soda filtrada de donde se envía por medio de bombas de transferencia, a los tanques de almacenamiento previo enfriamiento hasta 30 °C, como se muestra en la Figura N° 09.

Debemos mantener esta temperatura pues si bajamos mucho la temperatura de la solución de soda cáustica al 50%, se corre el riesgo de llegar al punto de congelamiento, como se muestra en el ANEXO 01, Figura 3; lo que traería consecuencias como la obstrucción de tuberías por la formación de cristales, afectando de igual manera el funcionamiento de las bombas.

Parte de la soda cáustica al 50% almacenada en los tanques será destinada a la preparación de hipoclorito de sodio y lo restante se dispone para la venta.

Sección de Tratamiento de Cloro Gas.

Enfriamiento y filtración de cloro húmedo

El cloro gaseoso que se produce en las celdas electrolíticas sale a una temperatura alrededor de 71 °C y a una presión negativa aproximadamente de 30 mmH₂O, luego ingresa a los intercambiadores de calor primarios (enfriadores primarios) a la temperatura de 70 °C y una presión de 30 mmH₂O que usa agua como medio de enfriamiento y donde el cloro es enfriado a la temperatura de 38 °C.

Entonces el cloro ingresa a los enfriadores secundarios alimentados por agua subenfriada.

Los enfriadores primarios y secundarios cuentan con un sistema de agua para su operación, ésta es suministrada desde la Torre de enfriamiento (Marley) y el CHILLER de agua subenfriada, respectivamente.

El cloro que sale de los enfriadores secundarios tiene una presión negativa aproximada de 85 mmH₂O y una temperatura aproximada de 15 °C manteniéndose por medio del controlador de temperatura actuando en la válvula colocada en la línea de retorno de agua subenfriada.

La temperatura del cloro nunca debe estar debajo de 13 °C porque favorece la formación de hidratos de cloro que podría obstruir el sistema de tuberías.

Al mismo tiempo, las temperaturas mayores de 20 °C ocasionarían un excesivo consumo de ácido sulfúrico en el posterior tratamiento en la sección de secado.

El cloro enfriado proveniente de los enfriadores secundarios pasa a través de los filtros demister de cloro húmedo, donde la niebla salina es eliminada.

La presión en la entrada de los filtros demister de cloro húmedo debe ser aproximadamente 100 mmH₂O.

La niebla necesariamente debe ser eliminada con el fin de minimizar la acumulación de sal en las torres de secado y en los equipos de procesamiento de cloro, aguas abajo.

Una boquilla está presente en la entrada de la línea de cloro húmedo antes de entrar en el deshumidificador (demister), para permitir el ingreso de agua de lavado y por lo tanto prevenir el exceso de sal acumulada.

La presión en las celdas es constantemente mantenida por medio de una válvula de control colocada en el by-pass general de la línea de compresores de cloro.

El cloro filtrado, que se encuentra a 17 °C y 155 mmH₂O aproximadamente, está listo para ser secado.

Secado del cloro húmedo

El secado del cloro húmedo tiene por finalidad eliminar el vapor de agua del cloro gaseoso. El secado del cloro se realiza en dos torres de secado instaladas en serie designadas como etapas de ácido sulfúrico residual (72 %) y fuerte (95 %). Cada torre de secado tiene un relleno sintético.

El flujo de ácido sulfúrico es en contracorriente con el gas cloro. El ácido sulfúrico ingresa por la parte superior, en tanto que el gas cloro ingresa por la parte inferior. Al interior de la torre de secado se encuentra el relleno sintético que es usado como medio de transferencia de masa para poner en contacto la fase líquida y gas.

El ácido sulfúrico (solvente) absorbe el vapor de agua (solute) que arrastra el cloro húmedo. En la fase gas saliente hay un cloro seco (con mínima cantidad de vapor de agua). El ácido sulfúrico se calienta debido a la dilución. Para su recirculación se baja la temperatura en un serpentín de enfriamiento.

La torre de secado N° 02 tiene por finalidad secar en su totalidad el Cloro húmedo.

Debido al secado del cloro gas, el ácido sulfúrico se diluye. para evitar esta dilución se adiciona en forma continua ácido sulfúrico concentrado mediante una

bomba dosificadora. el flujo de adición de ácido sulfúrico se controla mediante un controlador de conductividad que en función de esta incrementa o reduce el flujo. El sensor de conductividad del ácido sulfúrico se encuentra ubicado en la torre de secado N° 01 mientras que la adición de ácido sulfúrico se realiza en la torre de secado N° 02.

En caso de fallar el control de concentración de ácido sulfúrico la reposición del mismo se hará en forma periódica.

El ácido sulfúrico diluido, cuya concentración es 72 %, procedente de la torre de secado N° 01 se deriva a los tanques de almacenamiento, se declara y envía al tanque de almacenamiento para su posterior comercialización. El nombre comercial de este compuesto es “ácido sulfúrico residual”.

Compresores de cloro seco

El vacío en las celdas electrolíticas, enfriadores de cloro y las torres de secado se genera en compresores tipo centrífugo que utilizan ácido sulfúrico como sello líquido y refrigerante.

Por ningún motivo el ácido sulfúrico al interior del compresor de cloro debe ser usado para secar dicho gas. En la operación de compresión el ácido sulfúrico se calienta y sale del compresor con cloro, ambos fluidos son separados por gravedad en un tanque separador.

El ácido sulfúrico caliente se enfría e ingresa por la línea de succión al compresor. Los compresores de cloro tienen dos enfriadores de ácido sulfúrico - agua procedente de la torre de enfriamiento.

La cantidad de compresores de cloro en servicio depende en forma directa de la producción de cloro.

Para optimizar la operación de las unidades de ácido clorhídrico y licuado de cloro la succión en la sala de celdas debe ser mínima pero suficiente para evitar la

emisión de cloro al medio ambiente. Manteniendo la succión mínima (alrededor de 20 mm H₂O) se evita el ingreso de aire al sistema.

Filtración de cloro seco

En la etapa de compresión el cloro gas arrastra pequeñas cantidades de ácido sulfúrico. Con la finalidad de evitar el pase de este ácido sulfúrico se dispone de 3 filtros en paralelo de cloro seco. El ácido sulfúrico retenido es derivado hacia los tanques de almacenamiento de ácido sulfúrico o torre de secado N° 02.

Posteriormente, el cloro seco es derivado hacia las plantas de ácido clorhídrico, cloro líquido, hipoclorito de sodio y cloruro férrico.

Sección de Tratamiento de Hidrógeno Gas.

Enfriamiento, compresión y filtración de hidrógeno.

El hidrógeno procedente del colector general se enfría en dos intercambiadores de calor dispuestos en paralelo que utilizan agua sub enfriada. La temperatura de hidrógeno cae de 35 °C a 12 °C. A consecuencia de esta temperatura se logra condensar parte del agua y mercurio metálico.

El hidrógeno frío se alimenta a los compresores o gasómetro. De alimentarse a los compresores, el hidrógeno pasa por un deshumidificador (demister) donde condensa parte del agua y se incrementa la presión del mismo de 10 cmH₂O hasta 0.17 bar.

A esta presión el hidrogeno se recicla hacia el gasómetro o se alimenta al filtro de carbón activado donde el mercurio metálico reacciona con el sulfuro de hidrógeno formando el sulfuro de mercurio liberando hidrógeno.

El hidrógeno filtrado se alimenta a las unidades de síntesis para la producción del ácido clorhídrico.

La sección tiene dos filtros rellenos con carbón activado. Una se encuentra en operación y la otra en stand by.

El carbón activado saturado con mercurio pierde su capacidad de retener el mercurio. Por lo tanto, una vez saturado el carbón activado se retira del filtro y se deriva a su tratamiento respectivo.

Secciones de Procesamiento de Productos Terminados

Sección de Producción de Cloro Líquido

Para obtener el cloro líquido, se realiza primero el ciclo de refrigeración del freón, el cual en la etapa de evaporación es donde intercambia calor con el cloro gas proveniente de la filtración de cloro comprimido y es donde el calor retirado del cloro hace que se pueda licuar.

El Ciclo de refrigeración por compresión de vapor consta de los siguientes componentes principales:

- Compresor de freón.
- Condensador de freón.
- Válvula de expansión.
- Compresor de freón.

La distribución según el flujo de freón se aprecia según la figura N° 10:

Compresor de freón

El vapor de freón frío proveniente del evaporador y el aceite que sale del enfriador son alimentados al compresor donde incrementan su presión y temperatura.

El aceite se filtra para retener las partículas en suspensión y se enfría para retirar la energía ganada en la compresión. Posteriormente, el aceite se alimenta al compresor. Si la caída de presión en el filtro de aceite es superior a 0.1 MPa la unidad sale de servicio por alta caída de presión.

El freón gas es derivado hacia el condensador, la válvula de expansión y evaporador.

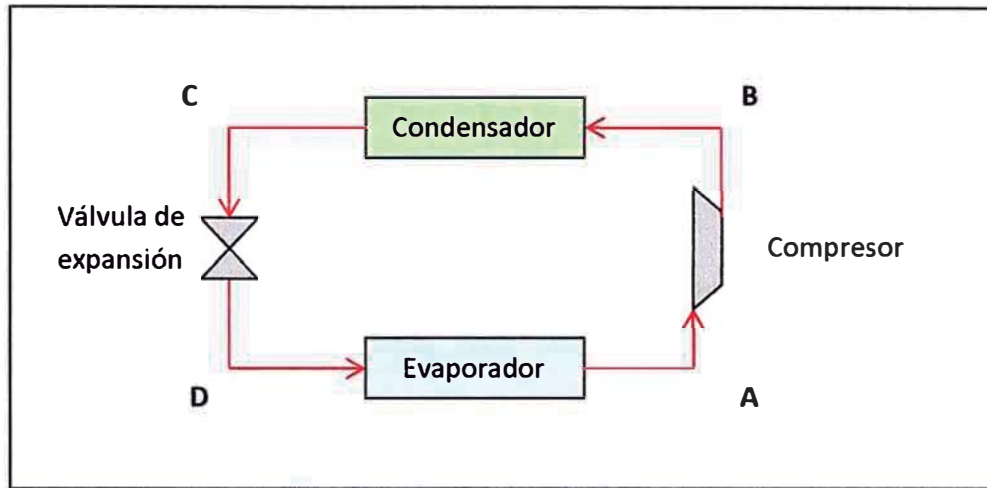


Figura N° 10. Ciclo de refrigeración del Freón.

El compresor se encuentra en mínima capacidad con un *led* encendido. Esto nos indica que la válvula deslizante se encuentra abierta lo que permite la máxima recirculación del freón en el compresor.

El compresor se encuentra a plena capacidad con 6 *leds* encendidos. Esto nos indica que la válvula deslizante se encuentra cerrada y no existe recirculación de freón en el compresor.

Asimismo, es posible variar la capacidad de la unidad dependiendo del número de *led* encendidos.

Condensador de freón

El freón gas caliente procedente del compresor va hacia el condensador donde se enfría y cambia de fase, de vapor a líquido de manera que del condensador sale freón líquido en su punto de saturación.

La condensación del freón toma lugar en la parte externa de los tubos, en tanto que el agua de enfriamiento circula por la parte interna.

El freón líquido se almacena en un tanque que posee un control indicador de nivel de freón líquido cuya válvula de control es la válvula de expansión. Cuando el nivel sube la válvula de expansión incrementa su porcentaje de abertura, y cuando baja, disminuye su porcentaje de abertura.

El freón líquido que se deriva hacia la válvula de expansión pasa a través de un filtro secador para eliminar la humedad y evitar la presencia de partículas en suspensión en la válvula de expansión.

Si por algún motivo la presión de freón en el condensador del mismo pasa de 13 bar, la unidad saldrá de servicio por alta presión de freón.

Válvula de expansión

El freón líquido procedente del condensador es alimentado a la válvula de expansión donde su presión cae. Debido precisamente a la caída de presión algo de freón se evapora tomando la energía necesaria del freón líquido. Por dicho motivo, el freón que se mantiene líquido disminuye su temperatura.

La unidad consta de dos válvulas de expansión. Una de ellas esta enlazada con el control indicador de nivel del tanque de freón líquido, y la otra, es de control manual, que se utiliza cuando la primera tiene algún desperfecto o sale para su mantenimiento respectivo.

La presión o temperatura del freón en la línea de succión del compresor se puede variar fácilmente abriendo o cerrando la válvula de expansión. Al abrir la válvula la temperatura sube ocurriendo lo contrario si se cierra.

La unidad dispone de un sistema de seguridad de parada por baja presión de freón. Antes de parar la unidad, se abre una válvula que permite el pase de freón gas al evaporador. Esta situación se observa en el tablero de control por la señalización de la lámpara de “nula capacidad”.

Evaporador de freón

El freón líquido procedente de la válvula de expansión es alimentado al evaporador de freón donde se evapora por intercambio de calor con el cloro. La evaporación del freón se produce a presión constante. Posteriormente el vapor de freón frío se alimenta a la línea de succión del compresor reiniciando el ciclo.

Debido al enfriamiento del cloro gas este condensa obteniendo cloro líquido que es derivado hacia los tanques de almacenamiento. El tanque que recibe la producción de cloro líquido deberá tener abierta la válvula de compensación que sirve para eliminar cualquier sobre presión en el tanque de almacenamiento de cloro líquido.

La tasa de producción de cloro líquido depende fundamentalmente de la pureza del cloro gas, presión en la línea del cloro y la temperatura del freón en el evaporador del mismo.

Las impurezas que tiene el cloro gaseoso (nitrógeno, oxígeno e hidrógeno) son incondensables en las condiciones que se produce el cloro líquido. Por consiguiente, estos gases, incluso el cloro remanente mediante la válvula denominada sniff gas hacia la línea de cloro pobre para ser utilizada en la producción de hipoclorito de sodio.

Sección de Producción de Ácido Clorhídrico.

La producción de Ácido Clorhídrico es un proceso continuo. Para este fin se dispone de cuatro hornos.

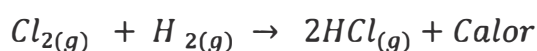
La cantidad de hornos en servicio depende de la disponibilidad de cloro rico.

La producción de Ácido Clorhídrico se realiza utilizando cloro rico, hidrógeno y agua desmineralizada, que proviene de la planta de ósmosis inversa. Cuando se

apaga la unidad el nitrógeno se utiliza como un elemento que permite eliminar del interior del Horno el exceso de Hidrógeno.

El Horno o Unidad de Síntesis de Ácido Clorhídrico está formado por una cámara de combustión, una cámara de absorción y una torre de colas, como vemos en la figura N° 11. Asimismo, para la puesta en servicio de cada unidad se dispone de un exhaustor.

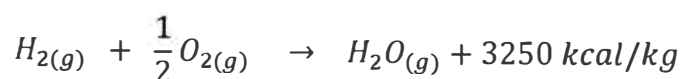
En la cámara de combustión, el cloro e hidrógeno arden para producir cloruro de hidrógeno, según la siguiente reacción exotérmica.



Para asegurar la completa combustión del gas cloro (evitando, además, las emisiones de cloro al medio ambiente) se alimenta gas hidrógeno en exceso. El exceso de hidrógeno, depende de las condiciones particulares de cada unidad.

En la operación, es muy importante, impedir la formación de mezclas explosivas, las que se pueden generar cuando la unidad trabaja algunas veces con exceso de hidrógeno o cloro.

Debido a que las celdas electrolíticas operan con una presión inferior a la atmosférica, la principal impureza del cloro producido es el aire (oxígeno y nitrógeno). El oxígeno reacciona con el hidrógeno formando vapor de agua, según la siguiente reacción que es altamente exotérmica:



El vapor de agua formado condensa y forma parte del ácido clorhídrico en tanto que el nitrógeno presente es inerte y junto al hidrógeno alimentado en exceso se elimina al medio ambiente por la parte superior de la torre de colas.

En la cámara de absorción el cloruro de hidrógeno pasa a través de los platos de absorción donde el agua desmineralizada absorbe dicho gas produciendo una solución al 33 % en peso de ácido clorhídrico mediante la siguiente reacción:



La combustión del cloro e hidrógeno y la absorción con agua del cloruro de hidrógeno son altamente exotérmicas, por lo tanto, los Hornos se refrigeran con agua proveniente de las torres de enfriamiento.

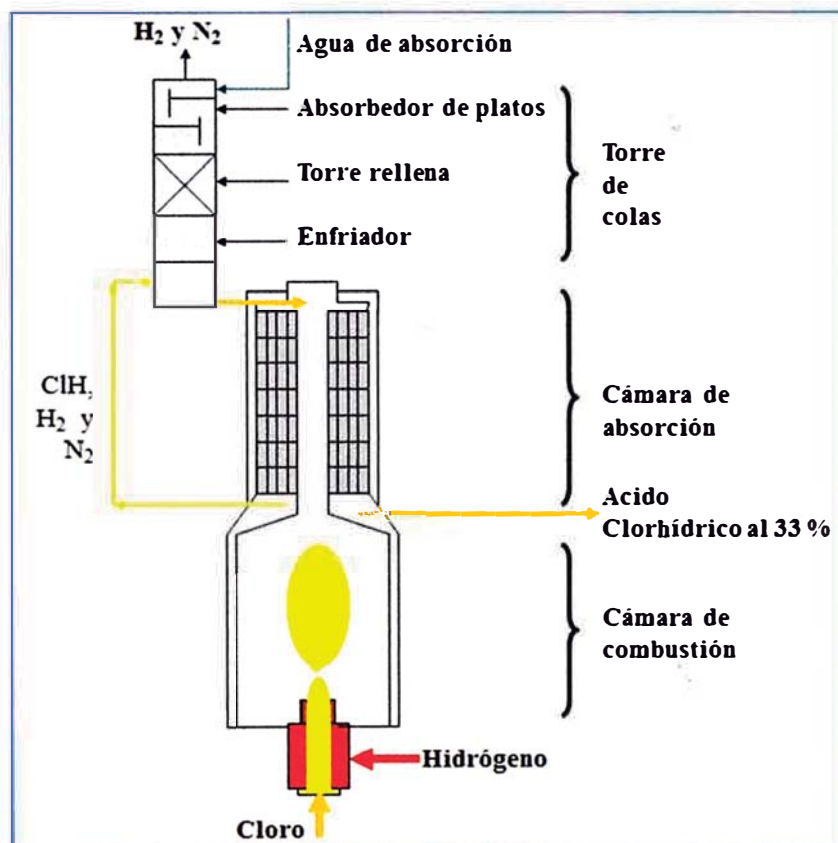
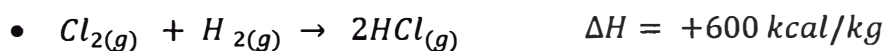
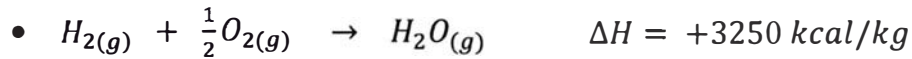


Figura N° 11. Unidad de Síntesis de HCl.

Como se menciona, además de las reacciones de combustión exotérmicas:





El proceso incluye otras reacciones:

- $HCl_{(g)} \rightarrow HCl_{(ac)} \quad \Delta H = +465 \text{ kcal/kg}$ - absorción de HCl gas en agua.
- $H_2O_{(l)} \rightarrow H_2O_{(g)} \quad \Delta H = -550 \text{ kcal/kg}$ - vaporización del agua.
- $H_2O_{(g)} \rightarrow H_2O_{(l)} \quad \Delta H = +550 \text{ kcal/kg}$ - condensación de agua.

Todas estas reacciones y las variaciones en entalpía de los fluidos en el ingreso y salida permiten determinar el calor que será evacuado del sistema.

En los casos más simples, cuando los gases son prácticamente puros, se estima que la producción de un kilogramo de ácido al 33% enfriado a 40 °C, genera 1000 kcal. Por lo tanto, la cantidad total de calor evacuado es aproximadamente:

$$Q = Px1000 \quad \dots \quad (3)$$

Donde:

Q: Energía que se genera en la combustión del cloro e hidrógeno y absorción del cloruro de hidrógeno (kcal/h).

P: Peso de cloruro de hidrógeno producido (kg/h).

Existe una mínima cantidad de cloruro de hidrógeno (por debajo de 1 ppm) que logra pasar la cámara de absorción. Para evitar la emisión de este gas al medio ambiente los Hornos están equipados con una torre de colas de última generación cuya función es absorber la totalidad de dicho gas.

La torre de colas consta de un intercambiador de calor, una torre empacada con relleno sintético y un absorbedor de dos platos adiabáticos. El intercambiador de calor sirve para enfriar los gases que pasan la cámara de absorción, luego dicho gas pasa a través de la torre empacada donde parte del cloruro de hidrógeno es absorbido.

El remanente de cloruro de hidrógeno burbujea en el agua que contiene los platos adiabáticos donde se produce la total absorción de dicho gas. Adicionalmente, parte del vapor de agua formado en la combustión se condensa en los platos adiabáticos.

Los únicos gases que salen al medio ambiente de las unidades de síntesis son el hidrógeno y el nitrógeno, el primero es un reactivo en exceso en tanto que el segundo es un gas inerte.

Sección de Producción de Hipoclorito de Sodio

La solución de hipoclorito de sodio es preparada a partir de la cloración de soda caustica de modo continuo. Para este propósito, la soda caustica al 49 - 50% en peso proveniente de los tanques de almacenamiento es continuamente diluida al 20 - 21% en peso con agua desmineralizada.

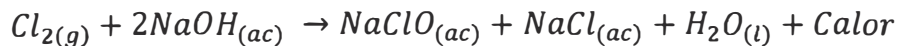
La sección de producción de hipoclorito está compuesta por:

- Un tanque de preparación de hipoclorito, donde la solución de hipoclorito es constantemente recirculada.
- Dos bombas de circulación de hipoclorito, una en stand-by.
- Los intercambiadores de calor de la producción de hipoclorito, para enfriar mediante agua subenfriada la solución de hipoclorito circulante en el tanque de preparación con el fin de eliminar tanto el calor de reacción como el calor de dilución de la soda caustica.
- Un eyector, donde la reacción entre el cloro y la soda caustica produciendo hipoclorito de sodio, es realizada.

La soda cáustica, con un flujo controlado automáticamente conforme al flujo de cloro, es enviada desde la descarga de las bombas hacia el tanque de preparación de hipoclorito. En la línea de dilución está previsto, la adición de agua desmineralizada.

La soda cáustica diluida, después de mezclarse con la solución circulante de hipoclorito, es enfriada por el intercambiador de calor de placas y fluye hacia el eyector donde, en el lado de la succión, el cloro gas que ingresa, proviene de la ventilación de las cabezas de la dechlorinación de la salmuera diluida proveniente del proceso de electrólisis y de la descarga de los compresores.

La reacción que tiene lugar en el interior del eyector es la siguiente:



La solución producida que proviene del tanque de circulación de hipoclorito, es entonces enviada al sistema de dilución por medio de bombas, bajo un control de nivel.

Eventualmente, algunas trazas de cloro no reaccionante son neutralizadas y son enviadas mediante una conexión, desde el tanque de preparación de hipoclorito a de la unidad de cloro de emergencia (siempre en operación) que se encuentra en vacío, previniendo cualquier posibilidad de liberar cloro hacia el aire atmosférico.

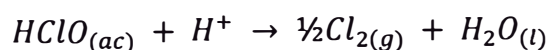
La concentración de hipoclorito de sodio producido, depende de la alimentación de la solución de NaOH y del exceso de la soda caustica residual en el fluido recirculante.

La concentración de hipoclorito de sodio requerida (NaClO 11% en peso) es entonces obtenida vía dilución con agua desmineralizada controlada.

Se cuenta con un instrumento coriolis, el cual proporciona el flujo volumétrico y la densidad de la solución producida, permitiendo por lo tanto el cálculo del flujo másico de la solución y la masa total de producto (vía un totalizador).

Es muy importante, para mantener la estabilidad del producto, tener en cuenta las siguientes consideraciones:

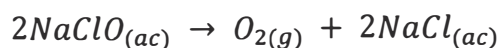
Si el valor del pH es menor a 7.0, el producto procede a descomponerse mediante la siguiente reacción:



La temperatura no debe ser mayor a 45 °C, pues da paso a la siguiente reacción:



Si la solución contiene óxidos (Ni, Cu, Co), el hipoclorito de sodio también sufriría descomposición dando lugar a la reacción de descomposición:



Sección de Producción de Soda Cáustica Sólida

En la planta de soda sólida se produce soda cáustica en escamas con una concentración mínima de 98 %.

La soda cáustica líquida al 50 % se alimenta por la parte superior al concentrador donde se calienta. A consecuencia del calentamiento se evapora el agua y la concentración de la soda cáustica aumenta de 50 a 98 %. Como medio de calentamiento se utiliza sal fundida.

En el concentrador, la sal fundida se enfría y se deriva al tanque de sal fundida. Mediante una bomba, la sal fundida se alimenta al horno para calentarla. En el horno se produce la combustión del gas natural con aire. Estos gases de combustión sirven para calentar la sal fundida.

Con la finalidad de optimizar el uso de la energía térmica, los gases de combustión utilizados para calentar la sal fundida se utilizan para calentar el aire (pre calentador) que se va emplear en la combustión con el gas natural.

La soda caustica liquida al 98 % se deriva al escamador para formar las escamas. Luego de ello se procede al envasado.

La planta dispone de las siguientes unidades:

- Horno.
- Tanque de sal fundida.
- Concentrador.
- Condensador.
- Escamador.
- Maquinas envasadoras.

3.3. PROCESO PRODUCTIVO ACTUAL

3.3.1. PROCESO DE FABRICACIÓN DE CLORO-ÁLCALI

El producto principal obtenido en una planta Cloro-Álcali en el Perú es la soda cáustica líquida, a partir de la electrólisis de una solución de cloruro de sodio. El cloruro de sodio proviene de la sal producida en los yacimientos de la costa del país.

La tecnología utilizada para la electrólisis del cloruro de sodio son las celdas de amalgama, se emplea un cátodo de mercurio y un ánodo de titanio recubierto de platino u óxido de platino.

El cátodo está depositado en el fondo de la celda de electrólisis y el ánodo sobre éste, a poca distancia.

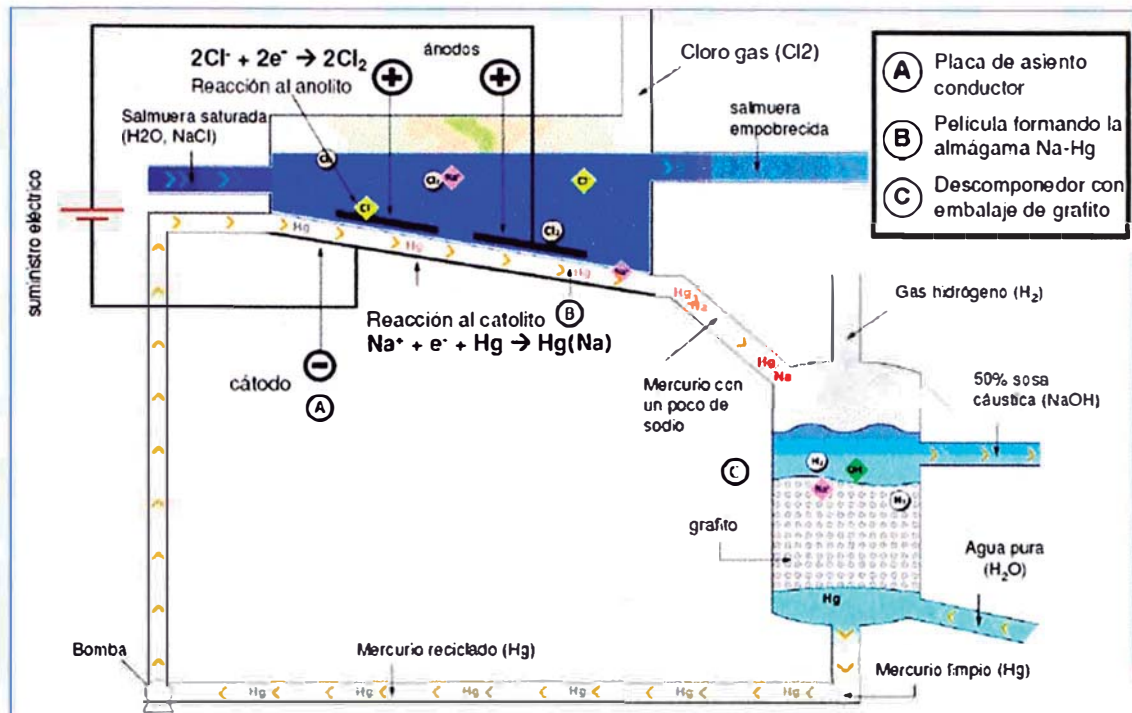
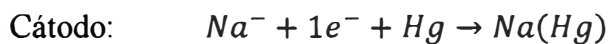
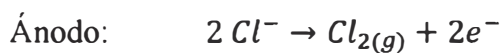


Figura N° 12. Celda electrolítica de amalgama.

La celda se alimenta con cloruro de sodio y, con la diferencia de potencial adecuada, se produce la electrólisis:



A continuación a la descomposición de la amalgama de sodio (0,35% en peso de sodio) formada al recuperar el mercurio. La base sobre la que está formada la amalgama está ligeramente inclinada y de esta forma va saliendo de la celda de electrólisis y se pasa a un descomponedor (desamalgamador) relleno con grafito en donde se añade agua a contracorriente, produciendo la reacción:



Al pasar por el desamalgamador, se recupera el mercurio para su neutralización en el circuito.

Regulando la cantidad de agua que alimenta el reactor es posible obtener directamente la soda caustica a su concentración de comercialización, 50% en peso.

3.3.2. CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN

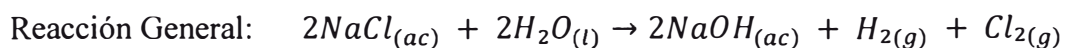
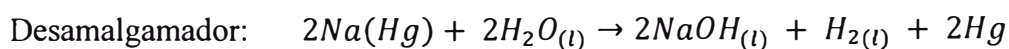
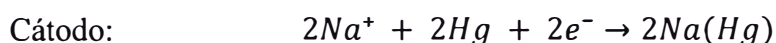
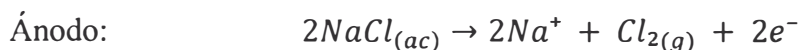
Producción de celdas electrolítica

La corriente directa para la electrólisis se produce por la rectificación de la corriente alterna en los grupos transformadores rectificadores. En estos grupos se puede medir directamente la cantidad de corriente, en kiloamperios, suministrada al proceso.

La capacidad de producción en la planta cloro-álcali es medida directamente por la cantidad de consumo de corriente, en kiloamperios.

Actualmente la planta cloro-álcali se encuentra trabajando con un consumo de corriente de 150 KA (kiloamperios), los cuales pasan a través de 40 celdas electrolíticas, las cuales tienen una eficiencia de corriente del 95%.

El proceso de producción en la planta cloro álcali obedece las siguientes reacciones electroquímicas:



Pesos moleculares:	P.M. NaOH	=	40 g/mol
	P.M. H ₂	=	2 g/mol
	P.M. Cl ₂	=	71 g/mol

Para poder obtener la cantidad producida de soda cáustica líquida, cloro gaseoso o hidrógeno gas en la sección electrólisis, se toma como base de cálculos, el enunciado según la Ley de Faraday: “Un Faraday de electricidad produce o consume un equivalente de cualquier sustancia”.

$$\begin{array}{rcl}
 1 & \text{Faraday} & = & N_A \times Ee^- \\
 1 & \text{Faraday} & = & 96500 \text{ Coulomb}
 \end{array}$$

De donde:

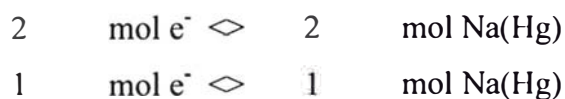
N_A , es el número de Avogadro y Ee^- , es la carga de un electrón.

El Faraday se define como la cantidad de carga eléctrica de un mol de electrones.

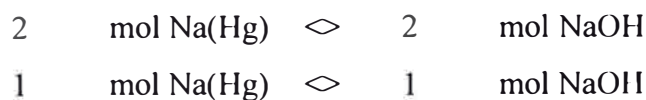
Según las reacciones anteriormente enunciadas se obtendrán las equivalencias que nos permitirán obtener la producción total de soda caustica.

Equivalencias:

De la reacción en el cátodo:



De la reacción en el desamalgamador:



Por lo tanto:

$$\begin{array}{rclcl}
 1 & \text{mol } e^- & \diamond & 1 & \text{mol NaOH} \\
 1 & \text{Faraday} & \diamond & 1 & \text{mol NaOH} \\
 96500 & \text{Coulomb} & \diamond & 40 & \text{g NaOH}
 \end{array}$$

Entonces, si deseamos producir 1 tonelada de soda caustica, necesitaremos:

$$\begin{aligned}
 1 \text{ ton NaOH} & \times \frac{96500 \text{ Coulomb}}{40 \text{ g NaOH}} \times \frac{1000 \text{ g NaOH}}{1 \text{ Kg NaOH}} \times \frac{1000 \text{ Kg NaOH}}{1 \text{ ton NaOH}} \\
 & = 2.41 \times 10^9 \text{ Coulomb}
 \end{aligned}$$

Se utiliza la conversión para obtener kA.h (kiloamperios-hora):

$$2.41 \times 10^9 \text{ Coulomb} \times \frac{1 \text{ kA}}{1000 \text{ A}} \times \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 670.00 \text{ kA} \cdot \text{h}$$

Por lo tanto se obtiene una relación directa del consumo de energía eléctrica con la producción de soda caustica, la cual se menciona:

$$670 \text{ kA} \cdot \text{h} \leftrightarrow 1 \text{ ton NaOH} \quad \dots \quad (4)$$

Tomando los datos de la planta cloro álcali, trabaja con 150 kA, el número de celdas electrolíticas (40 und), eficiencia de corriente (95%).

Se toma como referencia de trabajo una hora y utilizando la ecuación que se menciona a continuación:

$$\text{Consumo de corriente eléctrica real} = \text{Amperaje de trabajo} \times \text{número de celdas} \times \text{eficiencia de corriente} \times 1 \text{ hora} \quad \dots \quad (5)$$

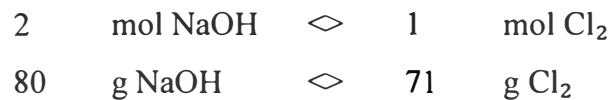
Reemplazando los datos en la ecuación (5), se obtiene en consumo real de corriente eléctrica:

$$\text{Consumo de corriente eléctrica real} = 5700 \text{ KA.h}$$

De la equivalencia (4) dada anteriormente, entre en consumo eléctrico y las toneladas de soda cáustica, hallamos la producción total de soda cáustica en el proceso de electrólisis:

$$\text{Equivalencia en producción NaOH} = 8.5 \text{ ton NaOH / h.}$$

De la reacción total, se obtiene la siguiente equivalencia, para obtener la producción de cloro gaseoso:



$$\text{Equivalencia en producción de Cloro gaseoso} = 7.5 \text{ ton Cl}_2 / \text{h.}$$

De la misma forma se obtiene la producción de hidrógeno gaseoso:



$$\text{Equivalencia en producción de H}_2 = 0.2 \text{ ton H}_2 / \text{h.}$$

Producción de los derivados de cloro

El cloro gaseoso producido se aprovecha en su totalidad, procesándolo y obteniendo una variedad de productos; hipoclorito de sodio, cloro líquido, ácido clorhídrico, cloruro férrico e hipoclorito de calcio.

En la planta cloro-álcali se procesan estos productos excepto el cloruro férrico y el hipoclorito de calcio.

Se detalla la producción de hipoclorito de sodio y cloro líquido:

Producción de NaClO:	7.5	t/h
Licuado de Cloro:	400	kg/h

El cloro restante no procesado en los productos anteriormente descritos, se deriva para la producción de ácido clorhídrico.

En esta evaluación solo se analizará la producción de los productos: cloro líquido, hipoclorito de calcio y ácido clorhídrico, por formar parte de la planta cloro álcali.

Hipoclorito de Sodio

El hipoclorito de sodio producido (11% masa) responde a la siguiente reacción química:



De lo anterior se obtiene la masa de hipoclorito de sodio (P.M. NaClO = 74.5 g/mol) producido.

Masa de NaClO (100% en peso) producida por hora = 825 kg NaClO / h

Entonces de la reacción estequiométrica se obtiene el consumo de cloro gaseoso para la producción de hipoclorito de sodio:



Se obtiene el consumo de Cl₂ (g) = 786.20 Kg Cl₂ / h

Cloro Líquido

La cantidad total de producción de cloro líquido es igual a la cantidad de cloro gaseoso consumido, entonces:

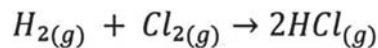
$$\text{Consumo de Cl}_2(\text{g}) = 400.00 \text{ kg Cl}_2 / \text{h}$$

Ácido clorhídrico

El cloro restante, es decir de la diferencia de lo producido en las celdas electrolíticas menos el consumo en la producción de los demás productos, obtenemos el cloro utilizado para producir ácido clorhídrico al 33%.

$$\text{Consumo de Cl}_2(\text{g}) = 6143.00 \text{ kg Cl}_2 / \text{h}$$

En la producción de ácido clorhídrico se utiliza la reacción de síntesis:



A partir de esta reacción química podemos obtener el peso de HCl (P.M. HCl = 36.5 g/mol) producido como gas.

3.3.3. EVALUACIÓN DE LA ENERGÍA A RETIRAR DE LOS DIFERENTES PROCESOS.

A partir de los balances másicos y energéticos de la planta cloro álcali y con conocimiento de operación de los equipos de producción, se muestra a continuación, el calor que debe ser retirado por el sistema de enfriamiento de las diferentes áreas de la planta cloro álcali.

En este balance no se toman en cuenta los consumos de cloro de las plantas de cloruro férrico, ni de hipoclorito de calcio, pues estos consumos son mínimos y la

planta cloro álcali puede operar normalmente sin el procesamiento de estos productos.

Se detallarán a continuación los balances energéticos por secciones de tratamiento y producción de los productos de la planta cloro álcali.

Datos teóricos utilizados:

Calor específico H ₂ O:	1	kcal/kg-°C
Calor específico Vap. H ₂ O:	0.50	kcal/kg-°C
Calor específico H ₂ :	3.41	kcal/kg-°C
Calor específico Aire:	0.25	kcal/kg-°C
Calor específico Cloro:	0.12	kcal/kg-°C
Calor específico Hg:	0.03	kcal/kg-°C
Calor específico NaOH 50%	0.77	kcal/kg-°C
Calor específico H ₂ SO ₄ (98%)	0.33	kcal/kg-°C
Densidad ácido sulfúrico	1840	kg/m ³
Densidad del agua:	1000	kg/m ³
Masa molecular del aire:	29	g/mol
Masa molecular del agua:	18	g/mol
Masa molecular NaOH	40	g/mol
Masa molecular Cl ₂	71	g/mol
Masa molecular H ₂	2	g/mol
Masa molecular NaClO	74.5	g/mol
Masa molecular HCl	36.5	g/mol

SECCIÓN ELECTRÓLISIS

Datos de planta:

Carga (corriente eléctrica continua)	150	KA
Número de celdas electrolíticas	40	

Eficiencia de corriente	95	%
Kf (coeficiente de voltaje)	0.061	

GRUPOS TRANSFORMADORES RECTIFICADORES

Voltaje	164	V
---------	-----	---

La forma de cálculo del voltaje se muestra en el ANEXO 04.

Para calcular la cantidad de energía a disipar se utilizará la siguiente expresión:

$$P = I \times V \quad \dots \quad (6)$$

La eficiencia mostrada nos indica la cantidad de corriente (kA) que el equipo está suministrando al proceso de electrólisis, el restante es disipado por el sistema de enfriamiento.

GTR	1	2	3	4	5	
Distribución de Carga	24	24	54	24	24	kA
Eficiencia	95	95	95	95	95	%
Energía a disipar	197	197	442	197	197	kW
Energía a disipar	169 151	169 151	380 590	169 151	169 151	kcal/h

Calor total retirado **1 004 336** **kcal/h**

AGUA DE CABEZALES DE CELDAS

Agua desmineralizada de cabezales de entrada	=	2	m ³ /h
Temperatura IN intercambiador de calor	=	70	°C
Temperatura OUT intercambiador de calor	=	40	°C
Calor retirado	=	60 000	kcal/h

Agua desmineralizada cabezales de salida	=	2	m ³ /h
Temperatura IN intercambiador de calor	=	60	°C
Temperatura OUT intercambiador de calor	=	40	°C
Calor retirado	=	40 000	kcal/h
Calor total retirado	=	912 340	kcal/h

SECCIÓN DE TRATAMIENTO DE SODA CÁUSTICA

SODA CAUSTICA

Como se observó anteriormente, de (4) y (5), obtenemos la producción de soda cáustica (100% en peso) en la planta cloro álcali.

Producción	8.5	t/h
Masa total NaOH 50%	17 015	kg/h

PRIMER ENFRIAMIENTO

Temperatura IN	100	°C
Temperatura OUT	70	°C

Con los datos teóricos mostrados y teniendo en cuenta la ecuación (2), obtenemos:

Calor retirado	391 003	kcal/h
----------------	---------	--------

SEGUNDO ENFRIAMIENTO

Temperatura IN	70	°C
Temperatura OUT	30	°C

Con los datos teóricos mostrados y teniendo en cuenta la ecuación (2), obtenemos:

Calor retirado 521 337 kcal/h

El calor disipado en la sección de tratamiento de soda cáustica, será:

Calor total retirado 912 340 kcal/h

SECCIÓN DE TRATAMIENTO DE CLORO GAS

CLORO

Para hallar producción del cloro gaseoso, se realiza el balance estequiométrico de la reacción general dada en el proceso de electrólisis.

Producción 7.6 t/h
Masa total Cl₂ gas 7 550 kg/h

COMPOSICIÓN DEL GAS A TRATAR

Los datos de composición molar del gas producido se obtienen de análisis de laboratorio.

Base Seca

Compuestos	Fracción molar	Moles	Masa
Cloro	99 %	106.3 kmol/h	7 550 Kg/h
Hidrógeno	0.5 %	0.5 kmol/h	1 Kg/h
Aire	0.5 %	0.5 kmol/h	16 Kg/h
Total	100 %	107.4 kmol/h	7 567 Kg/h

Presión total 0.98 atm => 744.8 mmHg

ENFRIADOR PRIMARIO

Según los datos de planta:

Temperatura IN	75	°C
Temperatura OUT	35	°C

Como paso inicial se procede a verificar la cantidad de agua existente conjuntamente con el cloro gas al ingreso y salida del intercambiador de calor.

Para hallar la cantidad de vapor de agua presente conjuntamente con el gas se utiliza la siguiente expresión:

$$W_{\text{vapor de H}_2\text{O}} = \frac{PM_{\text{H}_2\text{O}} \times n_{\text{gas}} \times P_{\text{vapor H}_2\text{O}}}{P_{\text{total}} - P_{\text{vapor H}_2\text{O}}} \dots (7)$$

AGUA

Presión vapor a Temp. IN	289	mmHg
Presión vapor a Temp. OUT	42	mmHg
Vapor de agua IN	1 227	kg/h
Vapor de agua OUT	116	kg/h
Condensado de vapor	1 111	kg/h

Teniendo la cantidad de condensado de vapor, se obtiene el calor de condensación de vapor, mediante:

$$Q = L \times m \dots (8)$$

Donde: L es el calor latente del agua y m, es la masa de vapor de agua que condensa.

Calor Latente H ₂ O	555	kcal/kg
Calor condensación H ₂ O	616 371	kcal/h

Con los datos teóricos mostrados y teniendo en cuenta la ecuación (2), obtenemos:

Calor enfriamiento H ₂ O	44 423	kcal/h
-------------------------------------	--------	--------

Calor enfriamiento Vapor	2 321	kcal/h
--------------------------	-------	--------

Para los gases, se halla el calor disipado por el sistema de enfriamiento mediante la ecuación (2) y los datos teóricos necesarios que se muestran anteriormente.

HIDRÓGENO

Calor enfriamiento H ₂	147	kcal/h
-----------------------------------	-----	--------

AIRE

Calor enfriamiento Aire	156	kcal/h
-------------------------	-----	--------

CLORO

Calor enfriamiento Cloro	36 846	kcal/h
--------------------------	--------	--------

El calor disipado en el enfriador primario, será:

Calor total retirado	700 264	kcal/h
-----------------------------	----------------	---------------

ENFRIADOR SECUNDARIO

Datos de planta:

Temperatura IN	35	°C
----------------	----	----

Temperatura OUT	15	°C
-----------------	----	----

Para el cálculo de la energía a ser retirada de este enfriador, se realiza en forma similar al cálculo del enfriador primario.

Se halla primero el vapor contenido en los gases, para luego realizar el cálculo de calor de condensación o enfriamiento correspondiente, de cada una de las especies presentes en la mezcla.

AGUA

Presión vapor a Temp. IN	42	mmHg
--------------------------	----	------

Presión vapor a Temp. OUT	13	mmHg
---------------------------	----	------

Utilizando la ecuación (7), se obtiene:

Vapor de agua IN	116	kg/h
Vapor de agua OUT	34	kg/h
Condensado de vapor	82	kg/h

Mediante las ecuaciones (8) y (2), según corresponda, se obtiene:

Calor Latente H ₂ O	555	kcal/kg
Calor condensación H ₂ O	45 666	kcal/h
Calor enfriamiento H ₂ O	1 646	kcal/h
Calor enfriamiento Vapor	338	kcal/h

HIDRÓGENO

Calor enfriamiento H ₂	73	kcal/h
-----------------------------------	----	--------

AIRE

Calor enfriamiento Aire	78	kcal/h
-------------------------	----	--------

CLORO

Calor enfriamiento Cloro	18 423	kcal/h
--------------------------	--------	--------

El calor disipado en el enfriador secundario, será:

Calor total retirado	66 224	kcal/h
-----------------------------	---------------	---------------

Tomar en cuenta que el calor retirado por el enfriador secundario es mediante agua subenfriada proveniente del CHILLER de 80 toneladas de refrigeración.

COMPRESIÓN DE CLORO

El cloro gas seco, pasa por un sistema de compresión, el cual utiliza tres compresores.

Cada uno de éstos compresores utiliza un sello líquido de ácido sulfúrico, 98% em peso, que gana calor en el proceso de compresión, este calor ganado será disipado mediante intercambiadores de calor ácido – agua, para luego regresar al compresor a baja temperatura.

Para realizar el cálculo de la energía disipada del ácido sulfúrico en cada uno de los sistemas de compresión, utilizaremos la ecuación (2).

El flujo de ácido sulfúrico utilizado en cada uno de los compresores obedece a la necesidad del equipo, estos datos son obtenidos de los manuales de los equipos.

Compresor N° 5 (Gabioneta)

Flujo de ácido sulfúrico 98%	18	m^3/h
------------------------------	----	-----------------------

Para el intercambiador de calor ácido sulfúrico – agua del sistema de enfriamiento.

Temperatura IN intercambiador	45	$^{\circ}\text{C}$
-------------------------------	----	--------------------

Temperatura OUT intercambiador	30	$^{\circ}\text{C}$
--------------------------------	----	--------------------

Energía a retirar	163 944	kcal/h
--------------------------	----------------	---------------

Al igual que el intercambiador de calor ácido sulfúrico – agua, se calcula la energía retirada de los siguientes sistemas de compresión.

Compresor N° 3 (Nash)

Flujo de ácido sulfúrico 98%	12	m^3/h
------------------------------	----	-----------------------

Temperatura IN intercambiador	42	$^{\circ}\text{C}$
-------------------------------	----	--------------------

Temperatura OUT intercambiador	29	°C
Energía a retirar	94 723	kcal/h
Compresor N° 2 (Nash)		
Flujo de ácido sulfúrico 98%	12	m ³ /h
Temperatura IN intercambiador	40	°C
Temperatura OUT intercambiador	30	°C
Energía a retirar	72 864	kcal/h

SECCIÓN DE TRATAMIENTO DE HIDRÓGENO GAS

Para la sección de tratamiento de hidrógeno gas, se utilizará el método empleado en el cálculo de los enfriadores de cloro.

HIDRÓGENO

Producción	0.2	t/h
Masa total H ₂ gas	213	Kg/h

ENFRIADORES PRIMARIOS

Datos de planta:

Temperatura IN	90	°C
Temperatura OUT	40	°C
Presión Total del gas	0.98	atm => 744.8 mmHg

AGUA

Presión vapor a Temp. IN	526	mmHg
--------------------------	-----	------

Presión vapor a Temp. OUT	55	mmHg
---------------------------	----	------

Para hallar el agua contenida conjuntamente con el gas, usaremos la ecuación (7):

Vapor de agua IN	4 595	kg/h
Vapor de agua OUT	154	kg/h
Condensado de vapor	4 441	kg/h
Calor latente H ₂ O	555	kcal/kg

Mediante la ecuación (8):

Calor condensación H ₂ O	2 464 752	kcal/h
-------------------------------------	-----------	--------

Utilizando la ecuación (2), obtenemos:

Calor enfriamiento H ₂ O	222 050	kcal/h
Calor enfriamiento Vapor	3 840	kcal/h

Mediante (2), se halla:

HIDRÓGENO

Calor enfriamiento H ₂	36 263	kcal/h
-----------------------------------	--------	--------

Calor total retirado	2 726 904	kcal/h
-----------------------------	------------------	---------------

ENFRIADOR SECUNDARIO

Datos de planta:

Temperatura IN	40	°C
Temperatura OUT	15	°C
Presión Total del gas	0.98	atm

De manera similar se procede a realizar el cálculo para los enfriadores secundarios, teniendo presente que para este proceso se utiliza agua subenfriada proveniente del CHILLER de 80TR.

AGUA

Presión vapor a Temp. IN	55	mmHg
Presión vapor a Temp. OUT	13	mmHg
Vapor de agua IN	154	kg/h
Vapor de agua OUT	33	kg/h
Condensado de vapor	120	kg/h
Calor Latente H ₂ O	555	kcal/kg
Calor condensación H ₂ O	66 686	kcal/h
Calor enfriamiento H ₂ O	3 004	kcal/h
Calor enfriamiento Vapor	418	kcal/h

HIDRÓGENO

Calor enfriamiento H ₂	18 132	Kcal/h
-----------------------------------	--------	--------

El calor total retirado del enfriador secundario, será:

Calor total retirado	88 239	kcal/h
-----------------------------	---------------	---------------

SECCIÓN DE PROCESAMIENTO DE PRODUCTOS TERMINADOS

COLORO LÍQUIDO

Producción	0.4	t/h
Masa total cloro licuado	400	kg/h
Calor latente Cl ₂ líquido	68.70	kcal/kg

Al realizar los cálculos, tomaremos en cuenta las siguientes consideraciones:

Para hallar el calor que se transfiere del cloro gas hacia el freón (evaporador de freón), se utiliza la ecuación (8).

Las tablas tomadas como referencia son las del ANEXO 03.

El aceite que se utiliza como sello líquido del compresor de freón, es enfriado también por agua del sistema de enfriamiento, el calor a disipar se tomará como un 15% del calor del condensador de freón, de acuerdo al manual del equipo.

Relación calor cond./evap. freón	1.35	kcal/kcal
Energía a disipar (Cond.)	20 356	kcal/h
Enf. Aceite (15%)	3 053	kcal/h

Se obtiene el calor total a disipar mediante el sistema de enfriamiento:

Calor total a disipar	23 409	kcal/h
------------------------------	---------------	---------------

HIPOCLORITO DE SODIO 11% EN PESO

Producción	7.7	t/h
Masa total de NaClO	770	kg/h

De la reacción química de producción de hipoclorito de sodio, se tiene:

Consumo de cloro gas	734	kg/h
Consumo de NaOH 100%	827	kg/h

DILUCIÓN DE SODA

Del ANEXO 01, figura 7 y realizando las conversiones necesarias se obtiene:

Entalpia de soda al 50%	78	kcal/kg
Entalpia de soda al 20%	28	kcal/kg

Por lo tanto el calor a disipar en la dilución de soda cáustica será:

Calor total a retirar	41 342	kcal/h
------------------------------	---------------	---------------

HIPOCLORITO DE SODIO

Teniendo el calor de reacción dependiente de la cantidad de cloro a procesar, se puede hallar el calor disipado en el proceso:

Calor reacción NaClO	348	kcal/kg Cl ₂
Calor a disipar	255 371	kcal/h

En el proceso de producción de hipoclorito de sodio, el enfriamiento se realiza con agua subenfriada proveniente del CHILLER de 190 TR.

ÁCIDO CLORHÍDRICO

Consumo total de Cloro	6.417	t/h
Masa de gas Cl ₂ a procesar	6 417	kg/h

Mediante la reacción química de producción de HCl, obtenemos:

Masa de gas HCl producida	6 597.295	kg/h
Calor de combustión	600	kcal/kg HCl
Calor de absorción	400	kcal/kg HCl

El calor a disipar se obtiene de acuerdo a la ecuación (3):

Calor total retirado	6 597 295	kcal/h
-----------------------------	------------------	---------------

En los cálculos anteriores se detalla el calor retirado por cada una de las unidades sub enfriadoras (CHILLER de 80 TR y 190 TR).

A continuación se halla la capacidad de trabajo de cada una de estas unidades:

CHILLER 80 TR (Capacidad nominal 76 TR, 230 000 kcal/h)

Calor total retirado del sistema (enfriador secundario de cloro, enfriador secundario de hidrógeno)	=	153 945	kcal/h
Capacidad de trabajo	=	67	%

CHILLER 190 TR (Capacidad nominal 185.1 TR, 560 000 kcal/h)

Calor total retirado del sistema (preparación de hipoclorito de sodio, dilución de soda cáustica)	=	296 714	kcal/h
Capacidad de trabajo	=	53	%

Nota:

El CHILLER de 80 TR enfría algunos sistemas como se ha descrito anteriormente, por consiguiente, se debe calcular el calor retirado por el sistema de enfriamiento del CHILLER cuando trabaja a su máxima capacidad, para que este pueda retirar el calor que se ha calculado en los diferentes equipos. El cálculo en detalle se aprecia en el ANEXO 05.

Al igual que el CHILLER de 80 TR, el cálculo del calor retirado por el sistema de enfriamiento del CHILLER de 190 TR, se detalla en el ANEXO 05.

Actualmente se cuenta con dos unidades de sub enfriamiento (CHILLER de 190 TR). Una se encuentra en servicio y la otra en stand by, que intervendrá de acuerdo a las necesidades de enfriamiento en la sección de producción de hipoclorito de sodio.

3.4. OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO

En esta parte, indicaremos las variables más importantes para el proceso productivo de la planta cloro álcali y como estas se encuentran influenciadas por el sistema de enfriamiento.

3.4.1. IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES CRÍTICAS DEL PROCESO PRODUCTIVO

Como se describe, en la sección “Descripción de procesos e importancia del sistema de enfriamiento”, entre las variables críticas para poder mantener el

proceso de productivo en la planta cloro-álcali se encuentra la temperatura. Tanto para las líneas de tratamiento de soda cáustica, cloro e hidrógeno, como para el procesamiento de los productos terminados como los son hipoclorito de sodio, ácido clorhídrico y cloro líquido.

Otra variable de importancia en el sistema productivo es la corriente continua suministrada por los grupos transformadores rectificadores al proceso electrolítico.

En la planta cloro álcali se cuenta con cinco grupos transformadores rectificadores, cuya capacidad de suministro teórico de corriente continua y voltaje se describe en la tabla N° 01.

Los grupos transformadores rectificadores 1, 2, 4 y 5, por antigüedad solo tienen capacidad para suministrar 25 kA de intensidad de corriente continua como máximo. Por el contrario el grupo transformador rectificador 3 tiene la capacidad de suministrar los 60 kA de intensidad de corriente como máximo.

Este es el motivo por el cual nos limita el incremento de producción equivalente al consumo solo de 160 kA en la sección de electrólisis.

GTR (*)	INTENSIDAD DE CORRIENTE MÁXIMA DE SUMINISTRO (kA)	VOLTAJE MÁXIMO DE SUMINISTRO (Vcc)
1	30	171.5
2	30	171.5
3	60	171.5
4	30	171.5
5	30	171.5

(*) Grupo transformador rectificador.

Tabla N° 01. Capacidad teórica de los grupos transformadores rectificadores.

Al aumentar la intensidad de corriente de suministro en los grupos transformadores rectificadores, también aumenta la temperatura de los materiales aislantes dentro de los mismos, por lo que el enfriamiento del mismo debe adecuarse o incrementarse conforme se incremente el suministro de intensidad de corriente eléctrica para no acortar la vida útil del equipo.

Por lo tanto es muy importante mantener la variable temperatura en el rango adecuado para todos los equipos, sistemas de tratamiento y producción.

3.4.2. EVALUACIÓN Y DETERMINACIÓN DE VARIABLES PARA INCREMENTAR LA PRODUCCIÓN

Para realizar el incremento de producción en la planta cloro-álcali, las variables directamente relacionadas, basadas en la ley de Faraday, son:

La cantidad de corriente continua que se va a utilizar en la electrólisis de la solución de cloruro de sodio. (kA)

La cantidad de celdas electrolíticas en servicio.

La eficiencia de corriente.

Teniendo en la máxima capacidad de los equipos transformadores rectificadores mencionados anteriormente, el incremento de producción vendrá dado por la máxima intensidad de corriente que puedan suministrar dichos grupos transformadores rectificadores, que en el caso de la planta vendría a ser 160 kA.

Entonces, para incrementar la producción en la planta cloro-álcali, se deben tener en cuenta de forma paralela las variables directas de incremento de producción así como las variables críticas que permiten mantener el sistema de producción en un desempeño óptimo, es decir, tratar de mantener las temperaturas de operación en los rangos indicados para cada proceso.

Consecuencia de ello, se debe evaluar el sistema de enfriamiento para determinar si existe la capacidad de mantener las temperaturas en los diferentes sistemas con un incremento de producción.

3.4.3. EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO EN EL INCREMENTO DE PRODUCCIÓN

En esta sección se realizará la evaluación del sistema de enfriamiento teniendo un incremento de la producción, como se describió en la determinación de las variables de incremento de producción, esta es directamente proporcional a la corriente que se utiliza para el proceso de electrólisis.

Se evalúa ahora el sistema productivo para una corriente de 160 kA, teniendo 40 celdas electrolíticas y una eficiencia de corriente de 95%.

Se mantiene constantes la producción de cloro líquido e hipoclorito de sodio.

SECCIÓN ELECTRÓLISIS

Datos de planta:

Carga (corriente eléctrica continua)	160	KA
Número de celdas electrolíticas	40	
Eficiencia de corriente	95	%
Kf (coeficiente de voltaje)	0.061	

De las equivalencias (4) y (5), se obtiene la producción de NaOH:

$$\text{Producción NaOH} = 9.1 \quad \text{t NaOH / h}$$

Obtenemos la producción de cloro e hidrógeno gas de la reacción total de electrólisis:

$$\begin{aligned} \text{Producción de Cl}_2 &= 8.1 \quad \text{t Cl}_2 / \text{h} \\ \text{Producción de H}_2 &= 0.2 \quad \text{t H}_2 / \text{h} \end{aligned}$$

Para la evaluación general de la planta, se tendrá presente que la producción hipoclorito de sodio y de cloro líquido, se mantendrán constantes.

Se detalla la producción de hipoclorito de sodio y cloro líquido:

Producción de NaClO:	7.5	t/h
Licuado de Cloro:	0.4	t/h

Realizando los cálculos como se ha desarrollado anteriormente, se presenta a continuación la capacidad de trabajo de las unidades de sub enfriamiento, así como un cuadro resumen del calor a retirar por el sistema de enfriamiento.

CHILLER 80 TR (Capacidad nominal 76 TR, 230 000 kcal/h)

Calor total retirado del sistema (enfriador secundario de cloro, enfriador secundario de hidrógeno)	=	164 208	kcal/h
Capacidad de trabajo	=	71	%

CHILLER 190 TR (Capacidad nominal 185.1 TR, 560 000 kcal/h)

Calor total retirado del sistema (preparación de hipoclorito de sodio, dilución de soda cáustica)	=	296 714	kcal/h
Capacidad de trabajo	=	53	%

Como se mantiene la producción de hipoclorito de sodio, la capacidad de trabajo de la unidad de sub enfriamiento (CHILLER de 190 TR) se mantiene.

Observamos que los equipos de subenfriamiento trabajaran normalmente ante un incremento de producción.

Después de evaluar cada una de las secciones en la planta cloro álcali, se presenta el cuadro con los resultados obtenidos ante un incremento de producción:

PRODUCCIÓN INCREMENTADA A 9.1 t/h NaOH (217 t/día)	Energía disipada en las torres de enfriamiento
ITEM	kcal/h
Hornos	7 114 833
Transformadores y rectificadores	1 085 166
Enfriamiento primario de cloro	734 939
Enfriamiento de mercurio	100 000
Enfriamiento primario de hidrógeno	2 908 698
Cloro líquido	23 409
Soda enfriamiento (primario y secundario)	973 163
CHILLER 80 TR	252897
Compresor de cloro N° 5	163 944
Compresor de cloro N° 3	94 723
Compresor de cloro N° 2	72 864
CHILLER 190 TR	1 290 660
Soda sólida	2 200 000
Total	17 015 296

Tabla N° 02. Energía retirada por el sistema de enfriamiento.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de los balances energéticos se muestran en las tablas N° 03 y N° 04. Mostramos la comparación de las necesidades de retiro de energía y también, la cantidad de agua necesaria para el respectivo enfriamiento.

Intensidad de Corriente (kA)	150	160
Producción NaOH (t/día)	204	217
ITEM	Energía disipada (kcal/h)	Energía disipada (kcal/h)
Hornos	6 597 295	7 114 833
Transformadores y rectificadores	1 004 336	1 085 166
Enfriamiento primario de cloro	689 005	734 939
Enfriamiento de mercurio	100 000	100 000
Enfriamiento primario de hidrógeno	2 726 904	2 908 698
Cloro líquido	23 409	23 409
Soda enfriamiento (primario y secundario)	912 340	973 163
Carrier 80 TR	252 897	252 897
Compresor de cloro N° 5	163 944	163 944
Compresor de cloro N° 3	94 723	94 723
Compresor de cloro N° 2	72 864	72 864
Carrier 190 TR	1 290 660	1 290 660
Soda sólida	2 200 000	2 200 000
Total	16 128 378	17 015 296

Tabla N° 03. Energía a ser retirada por el sistema de enfriamiento.

Calculamos el agua requerida, para ser enfriada en las torres de enfriamiento de la planta cloro álcali. Se muestran la variación de temperatura del agua del sistema de enfriamiento de los diferentes equipos y despejando la ecuación (2), obtenemos el flujo de agua necesario. Densidad del agua: 1000 kg/m^3 .

INTENSIDAD DE CORRIENTE (kA)		150	160
Producción NaOH (t/día)		204	217
ITEM	ΔT agua de enfriamiento en los equipos ($^{\circ}C$)	Flujo de agua (m^3/h)	Flujo de agua (m^3/h)
Hornos	10	660	711
Transformadores y rectificadores	8	126	136
Enfriamiento primario de cloro	10	69	73
Enfriamiento de mercurio	8	13	13
Enfriamiento primario de hidrógeno	10	273	291
Cloro líquido	10	2	2
Soda enfriamiento (primario y secundario)	10	91	97
Carrier 80 TR	3	84	84
Compresor de cloro N° 5	8	20	20
Compresor de cloro N° 3	6	16	16
Compresor de cloro N° 2	6	12	12
Carrier 190 TR	6	230	230
Soda sólida	10	220	220
Total		1 816	1 907

Tabla N° 04. Flujo de agua de enfriamiento.

Los resultados muestran que para un incremento de producción es necesario incrementar el agua de enfriamiento en por lo menos $92 m^3/h$.

V. CONCLUSIONES

1. Al incrementar la producción se incrementa el consumo de corriente, por lo tanto aumenta el consumo de energía en los rectificadores, parte de la energía brindada por los grupos transformadores rectificadores no es transferida al proceso de electrólisis, si no se disipa esta energía, daña los materiales aislantes dentro del equipo y por consiguiente disminuiría el tiempo de vida del mismo. Para que no suceda esto, se debe transferir toda esa energía al sistema de enfriamiento.
2. Incrementar la producción de soda caustica conlleva al incremento de producción de cloro gaseoso y de hidrógeno gas. Para mantener las temperaturas de los proceso de tratamiento de estos productos, se debe incrementas el flujo de agua, como se muestra en la tabla N° 04.
3. Al no variar la producción de cloro líquido, ni de hipoclorito de sodio, para el sistema de enfriamiento de ambos productos, no es necesario incrementar el agua de enfriamiento, pues el total de energía a retirar no sufre variación alguna.
4. En el balance general, según la tabla N° 03 la energía a retirar, necesaria para mantener el proceso operativo en óptimas condiciones con la producción actual es de 16 128 378 kcal/h y con el incremento de producción es 17 015 296 kcal/h.
5. El sistema de enfriamiento está conformado por 6 módulos que funcionan en paralelo cuyo delta de temperatura es 10 °C y cuyo flujo máximo de agua a enfriar es de 330 m³/h. Entonces la capacidad máxima de enfriamiento del sistema es de 19 800 000 kcal/h.
6. Al incrementar la producción a 160 kA, la energía necesaria a retirar por el sistema de enfriamiento, mostrada en la tabla N° 03, es de 17 015 296 kcal/h, lo cual si es posible satisfacer con la capacidad instalada en la planta de enfriamiento de cloro-álcali.

VI. RECOMENDACIONES

1. Con la evaluación del sistema de enfriamiento, se muestra que es posible incrementar la producción a 217 toneladas de NaOH por día, manteniendo las variables críticas en el rango adecuado de operación. En ésta evaluación no se toma en cuenta la capacidad de los transformadores-rectificadores, por lo que es conveniente corroborar si satisfacen la demanda de corriente que en este caso es de 160 kA.
2. Antes de realizar la prueba en planta, es necesario realizar un análisis más detallado de cada uno de los intercambiadores, bombas, tuberías y accesorios instalados, verificando que estén en condiciones de soportar los incrementos de caudales y/o presiones.
3. Para realizar un análisis más exhaustivo se deberá tomar en cuenta el funcionamiento de la torre que dependerá de las condiciones atmosféricas del medio en el que se encuentra operando. Lo que significa, que se debe tomar en cuenta las variaciones atmosféricas, pues estas pueden modificar la eficiencia de enfriamiento del agua que proviene del proceso.

ANEXO 01



Manual De Soda Caustica

**Operação eficiente.
Operação com Segurança**



Manual de Soda Cáustica

Conteúdo

Soda Cáustica e Responsabilidade pelo Produto Dow Informações Adicionais	3
Precauções de Segurança e Medidas Preventivas	4
Primeiros Socorros: O que fazer em caso de um acidente	5
Limpeza do Derramamento e Disposição de Resíduos	5
Formas de Solução Cáustica	6
Amostragem de Soda Cáustica	6
Cobrança de Soda Cáustica	6
Métodos para Transporte	7
Produção e Distribuição	7
Diluição da Soda Cáustica	8
Propriedades Físicas	10
Armazenagem e Manuseio	18
Descarregamento do Vagão-Tanque	20
Descarregamento do Caminhão-Tanque	25
Aplicação de Vapor no Vagão-Tanque	27

Este manual também está disponível em inglês, espanhol e francês canadense. Solicite-os pelo número do formulário:

Espanhol	102-00422
Inglês	102-00011
Francês	102-00348

Consulte o website www.dowcaustic.com para obter uma lista completa da literatura e dos vídeos de segurança e manuseio.

PERIGO!

Todas as formas de soda cáustica são altamente corrosivas. O contato com os olhos e a pele pode causar queimaduras graves. Um rápido contato com os olhos (por apenas alguns segundos), pode causar danos permanentes, até mesmo cegueira. O contato com a pele por um curto período de tempo pode causar irritação acentuada ou queimadura química.

Em todos os casos de contato do corpo com a soda cáustica, inicie a lavagem **imediatamente** com grandes quantidades de água corrente. Antes de trabalhar com a soda cáustica, todas as pessoas devem saber onde estão localizados os lava-olhos e os chuveiros de segurança mais próximos.

PRECAUÇÕES ESPECIAIS PARA DILUIR SOLUÇÕES DE SODA CÁUSTICA:

1. **Sempre** adicione a solução de soda cáustica à água sob constante agitação. **Nunca** adicione água à solução de soda cáustica.
2. A temperatura da água deve estar morna, entre 27° e 38°C (80°–100°F). **Nunca** inicie a diluição com água quente ou fria.

A adição de soda cáustica a um líquido causará um aumento de temperatura. Se a soda cáustica for adicionada muito rapidamente a um líquido quente ou frio, o aumento de temperatura poderá resultar em névoas, ebulição ou borrisos PERIGOSOS, que poderão causar uma imediata e VIOLENTA ERUPÇÃO imediata. Caso tenha dúvidas a respeito do uso da soda cáustica em uma aplicação em particular, entre em contato com um representante da Dow.

Em caso de emergências envolvendo exposições, vazamentos ou derramamentos, consulte os endereços e telefones relacionados em nossa FISPQ (Ficha de Informação sobre Segurança de Produto) e entre em contato com nosso posto de atendimento mais próximo do local da emergência.

Soda Cáustica e Responsabilidade pelo Produto Dow

A soda cáustica ou hidróxido de sódio (NaOH) reage quimicamente com uma ampla variedade de produtos químicos orgânicos e inorgânicos. Todas as formas de soda cáustica, inclusive a solução, são altamente corrosivas e podem causar queimaduras graves aos olhos e à pele. O contato com os olhos por apenas alguns segundos pode causar danos permanentes, até mesmo cegueira. O contato com a pele por um curto período de tempo pode causar irritação acentuada ou queimadura química (Consulte "Perigo" na página 2.)

Em virtude do risco de se trabalhar com a soda cáustica, é importante que todas as pessoas que lidam com o produto, direta ou indiretamente, conheçam e sigam os rigorosos procedimentos de segurança. As empresas que utilizam soda cáustica devem informar e treinar seus funcionários quanto às devidas práticas de segurança e primeiros socorros.

Recomenda-se a realização de reuniões e inspeções de segurança periodicamente para minimizar os riscos da soda cáustica. As reuniões de segurança devem lembrar todos os funcionários sobre os procedimentos de manuseio com segurança desenvolvidos, garantir o cumprimento de práticas e precauções necessárias para manusear a soda cáustica com segurança, além de reforçar treinamentos anteriores sobre o que fazer em caso de acidente.

O Compromisso de Atuação Responsável®

Os funcionários da Dow em todo o mundo desenvolvem soluções para a sociedade com base na força inerente da ciência e tecnologia da Dow. Há mais de uma década, seguimos e defendemos o *Atuação Responsável*® – um compromisso voluntário, que engloba toda a indústria, para manusear produtos químicos com segurança desde as etapas iniciais no laboratório até a disposição final. Este compromisso mundial incentiva a melhor qualidade de vida do consumidor, o sucesso dos clientes, a prosperidade dos acionistas, a realização dos funcionários e o florescimento das comunidades.

O produto de cloro, soda cáustica e o programa de responsabilidade ambiental da Dow fazem parte desse compromisso mundial. O programa de responsabilidade de soda cáustica é abrangente, incluindo literatura, materiais de treinamento, informações regulamentares e ambientais. Ele foi criado para fornecer a todos os usuários de soda cáustica da DOW as informações de procedimentos que venham a ser necessários.

Para obter informações adicionais sobre a soda cáustica e produtos correlatos, entre em contato com:

The Chlorine Institute
2001 L Street NW, Suite 506
Washington, DC 20036
Fone: (011) 703-741-5760
Fax: (011) 703-741-6068
www.cl2.com

Folhetos de Interesse sobre a Soda Cáustica

1. Folheto 065: "Equipamentos de Proteção Individual para Produtos Químicos de Cloro e Soda Cáustica." Traz informações sobre determinados equipamentos de proteção individual utilizados na fabricação ou manuseio de cloro e hidróxido de sódio.
2. Folheto 087: "Práticas Recomendadas para o Manuseio de Vagões-Tanque de Soluções de Hidróxido de Sódio e de Hidróxido de Potássio (cáusticas)." Procedimentos, práticas recomendadas e outras informações úteis para o embarque, manuseio e/ou recebimento de soluções de hidróxido de sódio em vagões-tanque com segurança.
3. Folheto 088: "Soluções de Hidróxido de Sódio e de Hidróxido de Potássio (cáusticas): Carregamento/Descarregamento de Caminhões-Tanque." Procedimentos, práticas recomendadas e outras informações úteis para o embarque, manuseio e recebimento de soluções de hidróxido de sódio e de hidróxido de potássio com segurança.
4. Folheto 094: "Soluções de Hidróxido de Sódio e de Hidróxido de Potássio (cáusticas): Equipamentos de Armazenagem e Sistemas de Tubulação." Informações sobre a armazenagem e tubulação de soluções de hidróxido de sódio e de hidróxido de potássio, bem como sugestões práticas quanto ao projeto, construção e operação desses sistemas.

Esses materiais de referência e outras informações do setor poderão ser obtidos no website do The Chlorine Institute:

www.cl2.com/publications/index.html ou envie sua solicitação para o fax (011) 703-741-6068.

Precauções de Segurança e Medidas Preventivas

O Desafio Básico

A solução de soda cáustica é um produto químico industrial muito corrosivo. Embora ela não pareça perigosa por ter a aparência de água, o contato com os olhos por apenas alguns segundos pode causar danos permanentes, até mesmo cegueira.

A soda cáustica é inodora, portanto o cheiro não serve como aviso. Além disso, a soda cáustica não causa dor imediatamente quando em contato com a pele, porém causa danos imediatos. O contato com a pele por um curto período de tempo pode causar irritação acentuada ou queimadura química.

Quando em contato com o corpo, a soda cáustica continua a atacar e penetrar os olhos ou a pele (ao contrário dos ácidos, que coagulam proteínas e formam uma barreira). Isso significa que:

- Após o contato com os olhos, lave-os imediatamente com água para evitar danos permanentes. Portanto, os lava-olhos devem estar localizados próximos à área de manuseio da soda cáustica.
- Após o contato com a pele, comece a lavá-la imediatamente com água para evitar queimaduras químicas de lenta cicatrização. Portanto, chuveiros de segurança devem estar localizados imediatamente acima do lava-olhos.

Roupas e Equipamentos de Proteção

Todos os funcionários que manuseiam soda cáustica devem utilizar roupas de proteção adequadas. Para obter informações adicionais, leia o Folheto 065 do The Chlorine Institute. Veja como solicitar folhetos na página 3.

1. As pessoas que manuseiam soda cáustica sempre devem utilizar óculos de segurança contra produtos químicos bem ajustados ao rosto e luvas resistentes a produtos químicos.
2. Roupas e equipamentos adicionais podem ser necessários, dependendo do trabalho. Veja a Figura 1. As instalações que utilizam soluções de soda cáustica são responsáveis pela execução da análise de segurança do trabalho para determinar os Equipamentos de Proteção Individual (EPI) adequados para a tarefa a ser realizada. Tais opções podem incluir:
 - Capacete.
 - Avental resistente a produtos químicos.
 - Máscara facial completa (além dos óculos de segurança contra produtos químicos).
 - Botas resistentes a produtos químicos.
 - Roupa completa de proteção química (jaqueta e calças). A jaqueta deve ser abotoada até o pescoço, as calças devem ficar para fora das botas e as mangas da camisa devem estar fechadas por dentro das luvas a menos que uma análise de segurança do trabalho determine que elas possam ser usadas por cima das luvas.

Figura 1 Roupas e Equipamentos de Proteção para o Manuseio de Soluções de Soda Cáustica a Granel



A soda cáustica pode causar danos graves à pele ou aos olhos (inclusive cegueira) com um contato por pouquíssimo tempo. Todos os funcionários que manuseiam soda cáustica a granel devem utilizar roupas de proteção adequadas. O uso de óculos de segurança e luvas resistentes a produtos químicos é obrigatório em todos os momentos. Equipamentos como capacete, máscara facial, roupa de proteção química e botas resistentes a produtos químicos podem ser exigidos para alguns trabalhos. Durante uma emergência, uma roupa completa de proteção química com capuz e uma máscara autônoma também podem ser necessárias.

- Roupa completa de proteção química com capuz e máscara autônoma.
3. Os funcionários devem ser bem treinados quanto aos riscos da soda cáustica antes de começarem qualquer trabalho envolvendo o material (descarregamento, armazenagem, transferência, produção, manutenção, ensaios laboratoriais, etc.). Todas as atividades dessa natureza devem ser cuidadosamente planejadas com antecedência e deve-se seguir todos os procedimentos planejados rigorosamente.

Primeiros Socorros: O Que Fazer em Caso de Acidente

Após o contato com o corpo, remova a soda cáustica com água corrente o mais rapidamente possível com água apenas. Não utilize sabão. Não tente neutralizar a soda cáustica com produtos químicos. Continue o enxágüe por 30 minutos ou até que um médico peça para parar. É importante contatar um médico imediatamente no caso de qualquer exposição à soda cáustica. Siga as orientações do médico. É importantíssimo que você comece a lavagem com água o mais rapidamente possível. Qualquer tempo perdido antes dessa lavagem poderá causar danos graves e irreparáveis!

Os lava-olhos devem estar localizados próximos à área de manuseio da soda cáustica e os chuveiros de segurança diretamente acima dos lava-olhos.

- 1. Olhos:** enxágüe-os imediatamente com a água sob baixa pressão de um lava-olhos. Após ter lavado bem as mãos, mantenha as pálpebras bem abertas e continue a enxaguar por 30 minutos ou até que um médico peça para parar.
- 2. Corpo:** lave-o imediatamente com a água do chuveiro de segurança. Lave a pele afetada com água por 30 minutos. Retire as roupas embaixo do chuveiro. Se os olhos não foram expostos, não retire os óculos até que a cabeça e os cabelos tenham sido totalmente lavados, do contrário, a soda cáustica poderá cair dentro dos olhos. Enxágüe bem a cabeça, em seguida retire os óculos e termine a lavagem.
- 3. Ingestão:** não induza o vômito. Beba grandes quantidades de leite (de preferência) ou água imediatamente e chame um médico.
- 4. Roupas:** lave as roupas contaminadas para remover a soda cáustica antes de reutilizá-las. Calçados e itens de couro contaminados devem ser destruídos.

Entre em contato com um médico imediatamente em caso de exposição à soda cáustica e inicie a lavagem com água de imediato.

Limpeza do Derramamento e Disposição de Resíduos

CONSULTE A SEÇÃO DE PRECAUÇÕES DE SEGURANÇA NA PÁGINA 4 ANTES DE INICIAR OS PROCEDIMENTOS DE LIMPEZA DE DERRAMAMENTOS:

Pequenos Derramamentos (em áreas contidas)

1. Dilua com água cuidadosamente.
2. Neutralize com ácido fraco (acético), se necessário.
3. Aspire para reutilização ou disposição.

Grandes Derramamentos (em áreas contidas)

1. Transfira o máximo possível para recipientes seguros para reutilização ou disposição.
2. Dilua a soda cáustica restante com água cuidadosamente.
3. Neutralize com ácido fraco (acético), se necessário.
4. Aspire a solução diluída e neutralizada para reutilização ou disposição.

Derramamentos em Áreas de Contenção Impossível (ex., solo, cascalho, etc.)

1. Contenha o derramamento e aspire o máximo de soda cáustica possível para reutilização ou disposição.
2. Remova o solo ou cascalho contaminado para disposição.

Sempre siga todas as regulamentações de disposição em vigor. Nunca lance resíduos cáusticos diretamente em redes de esgoto ou cursos de água.

O lançamento (derramamento) de soda cáustica no ambiente pode desencadear procedimentos de notificação às autoridades federais, estaduais, provinciais e municipais.

Para todos os outros países, entre em contato com o representante local ou com o escritório regional da Dow (telefones fornecidos na contracapa desse manual).

Caso um vagão ou caminhão-tanque da Dow esteja envolvido em um derramamento, notifique a Dow pelos números de emergência marcados no vagão-tanque, no conhecimento de embarque ou na FISPQ (Ficha de Informação sobre Segurança de Produto).

Formas de Solução Cáustica

Solução de Soda Cáustica Grau Comercial

A maioria dos usuários de soda cáustica irá constatar que a solução a 50% obtida pelo processo de célula com diafragma é a forma mais conveniente e econômica de soda cáustica que se pode comprar.

Solução de Soda Cáustica obtida por célula de Membrana/de Baixo Teor de Sal a 50%

Enquanto a soda cáustica com célula diafragma normal contém cerca de 1% de sal (NaCl), a soda cáustica obtida por célula de membrana/de baixo teor de sal contém menos de 0,01% de NaCl. A soda cáustica obtida por célula membrana/de baixo teor de sal da Dow pode substituir a soda cáustica por célula de mercúrio em todas as aplicações. Em algumas áreas, a "soda cáustica por membrana" também é chamada de "soda cáustica de baixo teor de sal."

Cobrança de Soda Cáustica

Na América Latina a fatura da soda cáustica é feita, baseada na concentração de NaOH constante no certificado de análise correspondente ao lote enviado ao usuário de soda cáustica.

Devido a pequenas variações na concentração de embarques das soluções de soda cáustica a 50%, uma base de faturamento padrão é necessária. No Canadá, Estados Unidos e México, a prática da Dow é basear o peso de cada embarque em seu óxido de sódio (base Na₂O), de acordo com a seguinte fórmula:

$\frac{\text{lbs solução} \times \text{conteúdo de Na}_2\text{O} (\%)}{76 \times 2000} = \text{total de toneladas líquidas alcalinidade como NaOH (base de Na}_2\text{O a 76\%)}$

$\frac{\text{Solução em quilos} \times \text{conteúdo de Na}_2\text{O} (\%)}{76 \times 1000} = \text{tonelada métrica peso líquido alcalinidade como NaOH (base de Na}_2\text{O a 76\%)}$

O custo do material é então calculado multiplicando as toneladas líquidas (ou quilos líquidos) de alcalinidade total (base de Na₂O a 76%) pelo preço atual.

Amostragem de Soda Cáustica

Informações Gerais

Recomenda-se identificar positivamente a soda cáustica antes do descarregamento. A Dow produz soda cáustica utilizando os métodos SPC (Controle Estatístico do Processo) e SQC (Controle Estatístico da Qualidade). Cópias dos diagramas de SQC para itens de especificação de vendas podem ser obtidas com o representante de vendas da Dow.

Se uma amostra de retenção for coletada, ela deve ser representativa de toda a remessa. Uma vez que impurezas (especialmente carbonato de sódio) tendem a se concentrar na superfície ou no fundo do tanque, retirar a soda cáustica da superfície não fornecerá uma amostra significativa. Para ser representativa, a amostra deve incluir o material de cada nível do vagão ou caminhão-tanque.

À medida que a solução de soda cáustica se congela, a concentração de soda cáustica sofre alterações nas fases sólida e líquida. Isso também se aplica às impurezas existentes. Conseqüentemente, uma remessa de soda cáustica parcialmente congelada deve ser totalmente descongelada antes da coleta da amostra.

Amostragem de Soda Cáustica a 50%

Amostradores comerciais estão disponíveis em lojas de suprimentos e equipamentos químicos. Entretanto, pode-se obter uma amostra representativa ao baixar rapidamente uma garrafa de gargalo pequeno com lastro até o fundo do tanque, retirando-a logo em seguida. A soda cáustica formará bolhas dentro da garrafa à medida que for retirada, fornecendo uma amostra da seção transversal vertical de todo o conteúdo do tanque.

A soda cáustica entra no amostrador continuamente nas várias profundidades por onde passa. Para obter uma amostra representativa da remessa, o amostrador deve ser mantido em movimento. Em seguida, o dispositivo de amostragem deve ser totalmente enxaguado com água para remover toda a soda cáustica após cada uso. Os resíduos da lavagem devem ser coletados e eliminados da maneira correta.

Como Dissolver ou Diluir Amostras

Sempre utilize água destilada ou deionizada para diluir ou dissolver as amostras de soda cáustica preparadas para a análise química. Para evitar borrifos e uma possível erupção violenta, a soda cáustica deve ser adicionada à água lentamente sob agitação contínua.

Métodos de Embarque

Vagões e Caminhões-Tanque

Cada fábrica da Dow possui uma frota de vagões-tanque isolados, revestidos e equipados com serpentinas de aquecimento adequadas para serviços com soda cáustica.

Os vagões-tanque são equipados para permitir o descarregamento por cima ou por baixo utilizando bombas ou pressão de ar. As válvulas de segurança são fornecidas para ajudar a evitar acidentes pessoais em virtude da excessiva pressão de ar. Realiza-se uma manutenção cuidadosa de todos os vagões-tanque. Antes de cada carregamento, eles são inspecionados rigorosamente, efetuando-se a lavagem e os reparos necessários.

Os caminhões-tanque também estão disponíveis para serviços com soda cáustica a 50% em todos os locais de embarque. Eles são fabricados com aço inoxidável ou revestidos para conservar a qualidade do produto. Onde as condições meteorológicas assim o exigem, os caminhões-tanque recebem isolamento.

A soda cáustica da Dow pode ser transportada em vagões ou caminhões-tanque nas quantidades exibidas nas Tabelas 1 e 2.

Para obter informações adicionais, leia os Folhetos 087 (vagões-tanque) e 088 (caminhões-tanque) do The Chlorine Institute. Consulte a página 3 para obter mais detalhes.

Produção e Distribuição

A Dow possui unidades de produção e distribuição de soda cáustica em todo o mundo, localizadas de forma a proporcionar uma entrega conveniente e o melhor atendimento aos clientes. As localizações dos terminais e das fábricas da Dow oferecem flexibilidade para o transporte da soda cáustica.

Para obter informações adicionais sobre as localizações, entre em contato com o vendedor da Dow ou ligue para um dos números relacionados na contracapa deste impresso.

Tabela 1 Transporte em Vagões-Tanque

Tamanho do Vagão	Peso Aproximado da Solução		Peso Seco Aproximado	
	Libras	Quilos	Libras	Quilos
Galões 16.000	200.000	90.909	100.000	45.454

Tabela 2 Transporte em Caminhões-Tanque

Tamanho do Caminhão (EUA)	Tamanho do Caminhão (Canadá)		Peso Aproximado da Solução		Peso Seco Aproximado	
	Toneladas Métricas de Solução	Toneladas Métricas Secas	Libras	Quilos	Libras	Quilos
Galões 4.000	22	11	48.400	22.000	24.200	11.000
—	36	18	79.200	36.000	39.600	18.000
—	40	20	88.000	40.000	44.000	20.000

Diluição Da Soda Cáustica

Diagrama de Mistura para Soluções de Soda Cáustica

O diagrama de mistura (Figura 2) é útil para estimar o volume de água necessário para diluir soluções concentradas de soda cáustica até as concentrações desejadas, ou volumes de soluções de soda cáustica de diferentes concentrações as quais serão misturadas para produzir soluções de concentrações intermediárias desejadas.

PRECAUÇÕES ESPECIAIS PARA DILUIR SOLUÇÕES DE SODA CÁUSTICA:

1. **Sempre** adicione a solução de soda cáustica à água sob constante agitação. **Nunca** adicione água à solução de soda cáustica.
2. A temperatura da água deve estar morna, entre 27° e 38°C (80°–100°F). **Nunca** inicie a diluição com água quente ou fria.

A adição de soda cáustica a um líquido causará um aumento de temperatura. Se a soda cáustica for adicionada muito rapidamente ou a um líquido quente ou frio, o rápido aumento de temperatura poderá resultar em névoas, ebulição ou borrifos **perigosos**, que poderão causar uma imediata e **violenta erupção**.

Exemplo 1

Quantos galões de soda cáustica a 50% devem ser adicionados a 400 galões norte-americanos (1,51 m³) de soda cáustica a 20% para resultar em uma concentração final de 25%?

Relacione 50% na escala da esquerda (solução concentrada) com 20% na escala da direita (solução diluída). O ponto de interseção desta linha com a escala de solução a 25% mostra que uma razão de 14 volumes de solução de soda cáustica a 50% deve ser adicionada a 86 volumes de solução de soda cáustica a 20%. Utilizando esta relação de volume, monte uma expressão de equivalência:

$$\frac{14 \text{ gal. a } 50\%}{86 \text{ gal. a } 20\%} = \frac{X \text{ gal. a } 50\%}{400 \text{ gal. a } 20\%}$$

Solucionando para X

$$X = \frac{14 \times 400}{86} = 65,1 \text{ gal. (0,246 m}^3\text{) soda cáustica a } 50\%$$

Exemplo 2

Qual quantidade de água deve ser misturada a 4,0 m³ (1.057 galões) de soda cáustica a 20% para diluí-la até 15%?

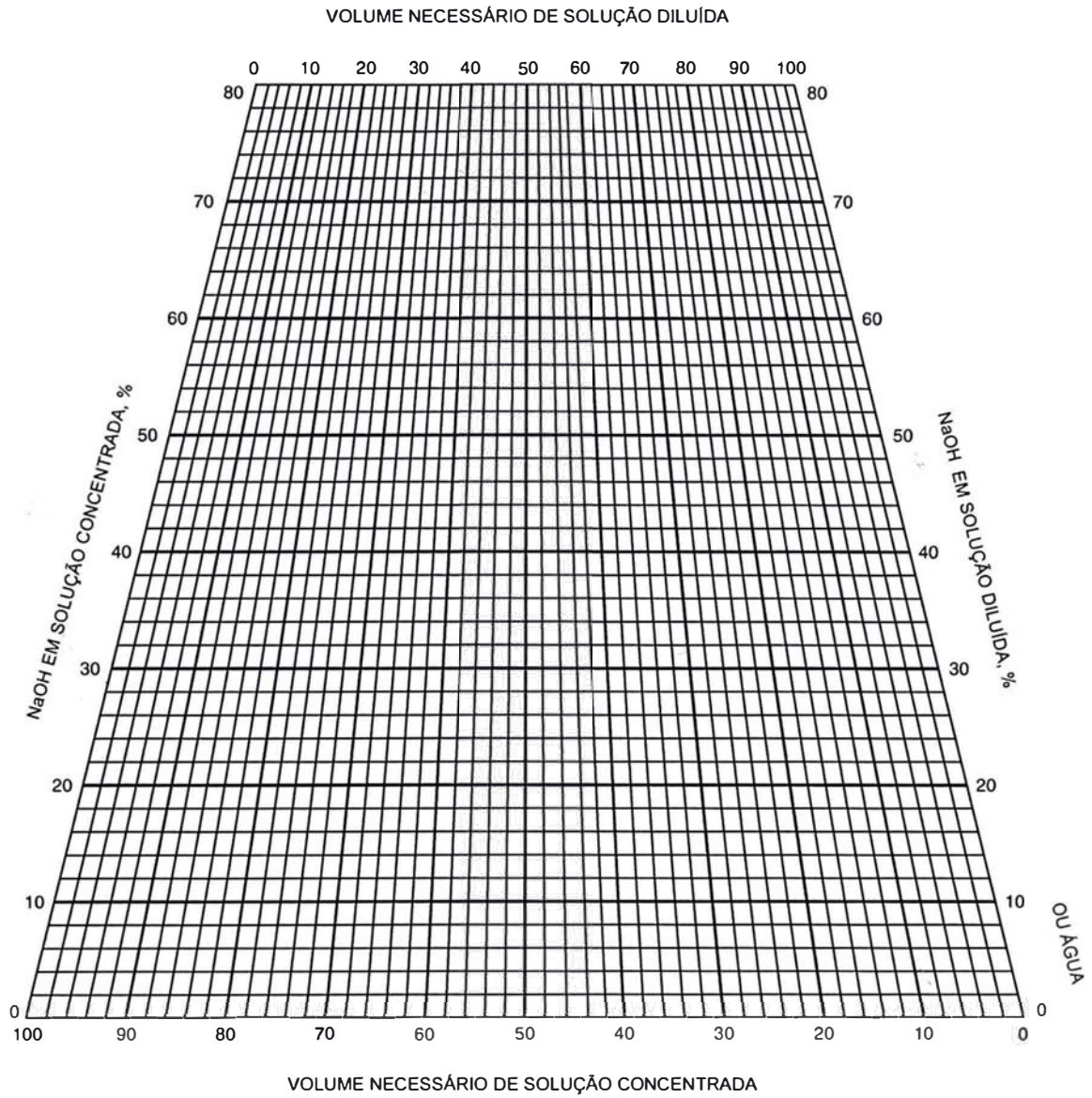
Relacione 20% na escala da esquerda (solução concentrada) com 0% na escala da direita (solução diluída). Na interseção dessa linha com a escala a 15%, constatamos que 72,5 volumes de soda cáustica a 20% e 27,5 volumes de água renderão uma solução de soda cáustica a 15%. Utilizando esta relação de volume, monte uma expressão de equivalência:

$$\frac{27,5 \text{ m}^3 \text{ água}}{72,5 \text{ m}^3 \text{ a } 20\%} = \frac{X \text{ m}^3 \text{ água}}{4,0 \text{ m}^3 \text{ de } 20\%}$$

Solucionando para X

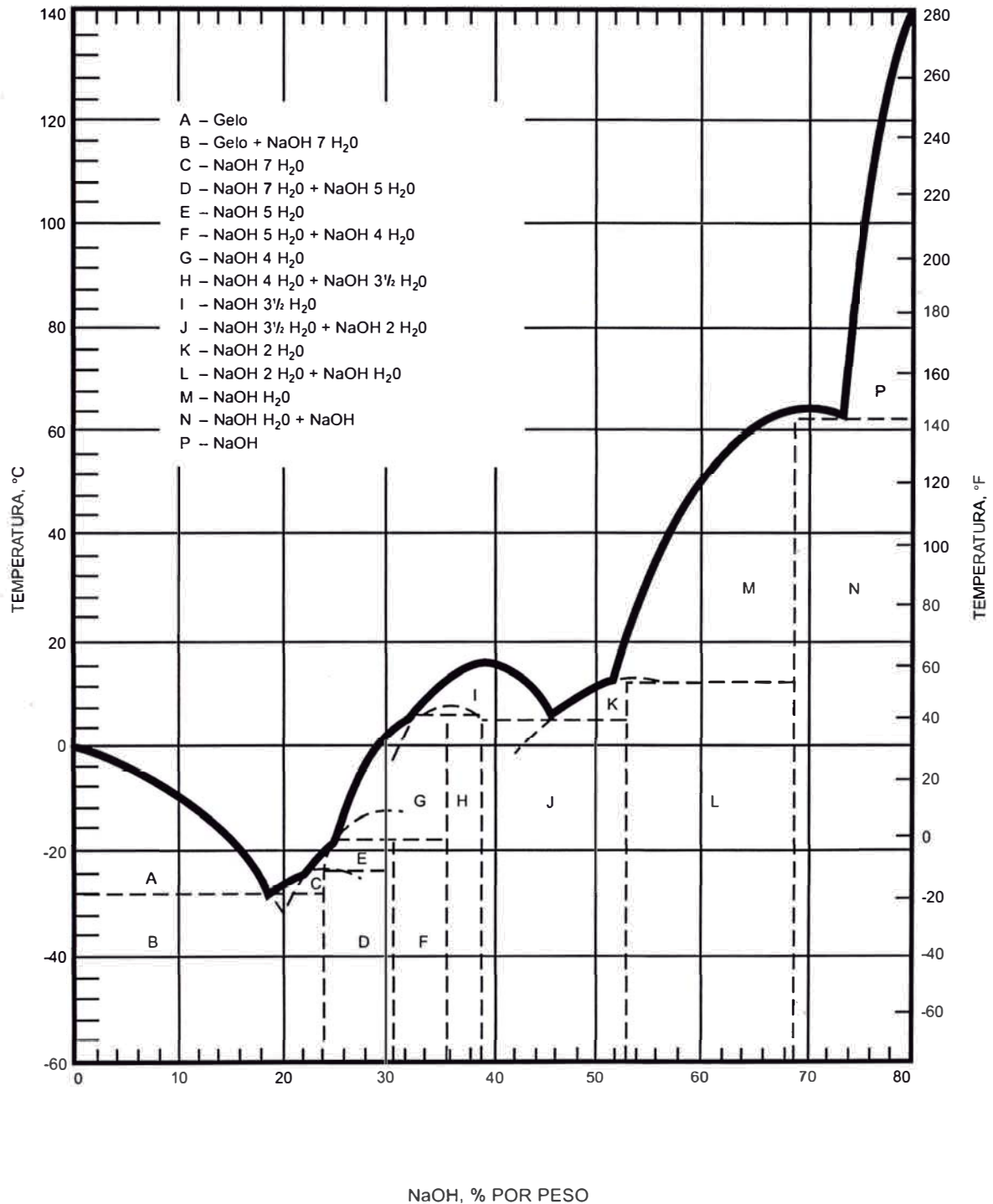
$$X = \frac{27,5 \times 4,0 \text{ m}^3}{72,5} = 1,51 \text{ m}^3 \text{ (399 gal) de água necessária}$$

Figura 2 Diagrama de Mistura para Soluções de Soda Cáustica



Propriedades Físicas

Figura 3 Ponto de Congelamento das Soluções de Soda Cáustica



NOTA:

A CURVA INDICA O PONTO NO QUAL EXISTEM CRISTAIS EM CONTATO COM A SOLUÇÃO

De T.P. HOU, Fábrica de Soda Ash, 2nd Ed. N.Y., Reinhold Publishing Corp., 1942.

The Industrial Engineering Chemistry Vol. 46, No 11, p. 2401.

Tabela 3 Tabela de Concentração da Massa Específica para Soluções de Soda Cáustica a 15,6°C (60°F)

% NaOH	% Na ₂ O	Especificidade Gravidade 60/60°F	Baume Am. Std.	Graus Twaddell 60°F	NaOH lb/gal	Peso total solução de ¹ lb/gal	NaOH lb/lG* ²	Peso total solução ² lb/lG*	Peso total NaOH g/litro	Peso total solução ² g/litro	NaOH lb/ft ³	Peso total solução ¹ lb/ft ³
1	0.78	1.012	1.72	2.4	0.08	8.44	0.10	10.14	10.11	1011.36	0.63	63.14
2	1.55	1.023	3.26	4.6	0.17	8.53	0.20	10.24	20.44	1022.14	1.28	63.81
3	2.32	1.034	4.77	6.8	0.26	8.62	0.31	10.35	30.99	1032.93	1.93	64.49
4	3.10	1.045	6.25	9.0	0.35	8.72	0.42	10.47	41.77	1044.91	2.61	65.23
5	3.87	1.056	7.69	11.2	0.44	8.81	0.48	10.57	52.77	1055.69	3.29	65.91
6	4.65	1.067	9.10	13.4	0.53	8.90	0.64	10.69	63.99	1066.48	3.99	66.58
7	5.42	1.079	10.65	15.8	0.63	9.00	0.76	10.80	75.44	1078.46	4.71	67.33
8	6.20	1.090	11.97	18.0	0.73	9.09	0.88	10.92	87.10	1089.25	5.44	68.00
9	6.98	1.101	13.30	20.2	0.83	9.18	1.00	11.02	98.99	1100.03	6.18	68.68
10	7.75	1.112	14.40	22.4	0.93	9.27	1.12	11.13	111.1	1110.81	6.94	69.35
11	8.52	1.123	15.88	24.6	1.03	9.36	1.23	11.24	123.5	1121.60	7.70	70.02
12	9.30	1.134	17.13	26.8	1.13	9.46	1.36	11.36	135.9	1133.58	8.49	70.77
13	10.08	1.145	18.36	29.0	1.24	9.55	1.49	11.47	148.9	1144.37	9.30	71.44
14	10.85	1.156	19.57	31.2	1.34	9.64	1.62	11.58	161.7	1155.15	10.10	72.12
15	11.62	1.167	20.75	33.4	1.46	9.73	1.75	11.68	175.0	1165.94	10.92	72.79
16	12.40	1.178	21.91	35.6	1.57	9.82	1.89	11.80	188.4	1176.72	11.76	73.46
17	13.17	1.190	23.15	38.0	1.69	9.92	2.03	11.91	202.1	1188.70	12.61	74.21
18	13.95	1.201	24.27	40.2	1.80	10.02	2.16	12.03	215.9	1200.69	13.47	74.96
19	14.73	1.212	25.36	42.4	1.91	10.11	2.30	12.14	229.1	1211.47	14.31	75.63
20	15.50	1.223	26.45	44.6	2.04	10.20	2.45	12.25	244.3	1222.26	15.26	76.31
21	16.28	1.234	27.50	46.8	2.16	10.29	2.59	12.36	258.9	1233.04	16.15	76.98
22	17.05	1.245	28.53	49.0	2.28	10.38	2.74	12.47	273.6	1243.83	17.08	77.65
23	17.83	1.256	29.55	51.2	2.41	10.48	2.90	12.59	288.6	1255.81	18.01	78.40
24	18.60	1.267	30.56	53.4	2.53	10.57	3.04	12.70	303.7	1266.59	18.96	79.07
25	19.38	1.278	31.57	55.6	2.66	10.66	3.20	12.80	319.2	1277.38	19.93	79.75
26	20.15	1.289	32.51	57.8	2.79	10.75	3.35	12.91	334.8	1288.16	20.90	80.42
27	20.92	1.300	33.46	60.0	2.93	10.85	3.52	13.03	350.7	1300.14	21.88	81.17
28	21.70	1.310	34.31	62.0	3.06	10.93	3.67	13.13	366.6	1309.76	22.89	81.77
29	22.48	1.321	35.23	64.2	3.19	11.02	3.83	13.23	382.8	1320.52	23.90	82.44
30	23.25	1.332	36.14	66.4	3.33	11.11	4.00	13.34	399.2	1331.30	24.92	83.11
31	24.02	1.343	37.03	68.6	3.47	11.20	4.17	13.46	416.0	1342.08	25.97	83.79
32	24.80	1.353	37.83	70.6	3.61	11.29	4.34	13.56	432.6	1352.87	27.00	84.46
33	25.58	1.363	38.62	72.6	3.75	11.37	4.50	13.65	449.7	1362.46	28.08	85.06
34	26.35	1.374	39.47	74.8	3.89	11.46	4.67	13.76	466.7	1373.24	29.13	85.73
35	27.12	1.384	40.23	76.8	4.04	11.54	4.85	13.86	484.4	1382.83	30.23	86.33
36	27.90	1.394	40.98	78.8	4.20	11.62	5.04	13.95	501.5	1392.41	31.30	86.93
37	28.68	1.404	41.72	80.8	4.33	11.71	5.20	14.06	519.4	1403.20	32.41	87.60
38	29.45	1.415	42.53	83.0	4.48	11.80	5.38	14.17	537.1	1413.98	33.52	88.28
39	30.22	1.425	43.24	85.0	4.63	11.88	5.56	14.27	553.3	1423.57	34.66	88.88
40	31.00	1.434	43.88	86.8	4.78	11.96	5.74	14.36	573.3	1433.15	35.79	89.47
41	31.78	1.444	44.58	88.8	4.93	12.04	5.92	14.46	591.6	1442.74	36.92	90.07
42	32.55	1.454	45.28	90.8	5.09	12.12	6.11	14.55	610.2	1452.33	38.10	90.67
43	33.32	1.463	45.89	92.6	5.25	12.20	6.30	14.66	629.5	1461.91	39.29	91.27
44	34.10	1.473	46.56	94.6	5.40	12.28	6.48	14.75	647.6	1471.50	40.41	92.87
45	34.88	1.483	47.22	96.6	5.54	12.37	6.65	14.86	667.8	1482.28	41.68	92.54
46	35.65	1.492	47.82	98.4	5.72	12.45	6.87	14.96	685.9	1491.87	42.80	93.14
47	36.42	1.502	48.46	100.4	5.89	12.53	7.07	15.05	705.9	1501.46	44.05	93.74
48	37.20	1.511	49.04	102.2	6.05	12.60	7.27	15.13	724.8	1509.85	45.27	94.26
49	37.98	1.521	49.67	104.2	6.22	12.68	7.47	15.23	744.8	1519.43	46.50	94.86
50	38.75	1.530	50.23	106.0	6.38	12.76	7.66	15.32	764.5	1529.02	47.73	95.46
51	39.52	1.540	50.84	106.0	6.55	12.84	7.87	15.42	784.3	1536.60	48.98	96.06
52	40.30	1.549	51.39	109.8	6.72	12.92	8.07	15.52	804.4	1548.19	50.23	96.65

¹Baseado em água a 8.329 lb/gal

²Baseada em água a 998.05 g/litro

*Galão Imperial

Tabela 4 Densidades¹ das Soluções de Soda Cáustica em Várias Temperaturas

% NaOH	32°F 0°C	50°F 10°C	86°F 30°C	104°F 40°C	122°F 50°C	158°F 70°C	176°F 80°C	194°F 90°C	212°F 100°C
2	1.024	1.023	1.018	1.014	1.010	0.999	0.993	0.987	0.980
4	1.048	1.046	1.039	1.035	1.031	1.020	1.014	1.008	1.001
6	1.071	1.068	1.061	1.056	1.052	1.041	1.035	1.028	1.022
8	1.094	1.091	1.083	1.078	1.073	1.062	1.056	1.050	1.043
10	1.117	1.113	1.104	1.100	1.094	1.083	1.077	1.071	1.064
12	1.140	1.136	1.126	1.121	1.116	1.104	1.098	1.092	1.086
14	1.162	1.158	1.148	1.143	1.137	1.126	1.120	1.113	1.107
16	1.185	1.180	1.170	1.165	1.159	1.147	1.141	1.134	1.128
18	1.207	1.202	1.192	1.186	1.181	1.169	1.162	1.156	1.149
20	1.230	1.224	1.214	1.208	1.202	1.190	1.183	1.177	1.170
22	1.252	1.247	1.245	1.230	1.224	1.211	1.205	1.198	1.191
24	1.274	1.269	1.257	1.251	1.245	1.232	1.226	1.219	1.212
26	1.296	1.291	1.279	1.273	1.267	1.254	1.247	1.241	1.234
28	1.318	1.312	1.300	1.294	1.288	1.275	1.268	1.262	1.255
30	—	1.334	1.322	1.315	1.309	1.296	1.289	1.282	1.276
32	—	1.355	1.343	1.336	1.330	1.317	1.310	1.303	1.296
34	—	—	1.363	1.357	1.350	1.337	1.330	1.323	1.316
36	—	—	1.384	1.377	1.370	1.357	1.350	1.343	1.336
38	—	—	1.404	1.397	1.390	1.376	1.370	1.363	1.356
40	—	—	1.423	1.416	1.410	1.396	1.389	1.382	1.375
42	—	—	1.443	1.436	1.429	1.415	1.408	1.401	1.394
44	—	—	1.462	1.455	1.448	1.434	1.427	1.420	1.413
46	—	—	1.481	1.473	1.466	1.452	1.445	1.438	1.432
48	—	—	1.500	1.492	1.485	1.471	1.464	1.457	1.450
50	—	—	1.518	1.511	1.504	1.490	1.483	1.476	1.470
52	—	—	1.538	1.530	1.524	1.510	1.503	1.496	1.490
54	—	—	—	1.549	1.543	1.530	1.523	1.516	1.510
56	—	—	—	1.568	1.562	1.550	1.543	1.536	1.530
58	—	—	—	—	1.581	1.570	1.563	1.556	1.550
60	—	—	—	—	—	1.590	1.583	1.576	1.570
62	—	—	—	—	—	1.610	1.603	1.596	1.590
64	—	—	—	—	—	1.630	1.623	1.616	1.610
66	—	—	—	—	—	1.650	1.643	1.636	1.630
68	—	—	—	—	—	1.670	1.663	1.656	1.650
70	—	—	—	—	—	1.690	1.683	1.676	1.670
72	—	—	—	—	—	1.710	1.703	1.696	1.690
74	—	—	—	—	—	1.730	1.723	1.716	1.710

¹Em g/ml

Dados abaixo de 50% de Tabelas Int.Crit. Vol.III, pag. 79. Dados acima de 50% obtidos por extrapolação.

Figura 4 Temperatura de Diluição das Soluções de Soda Cáustica

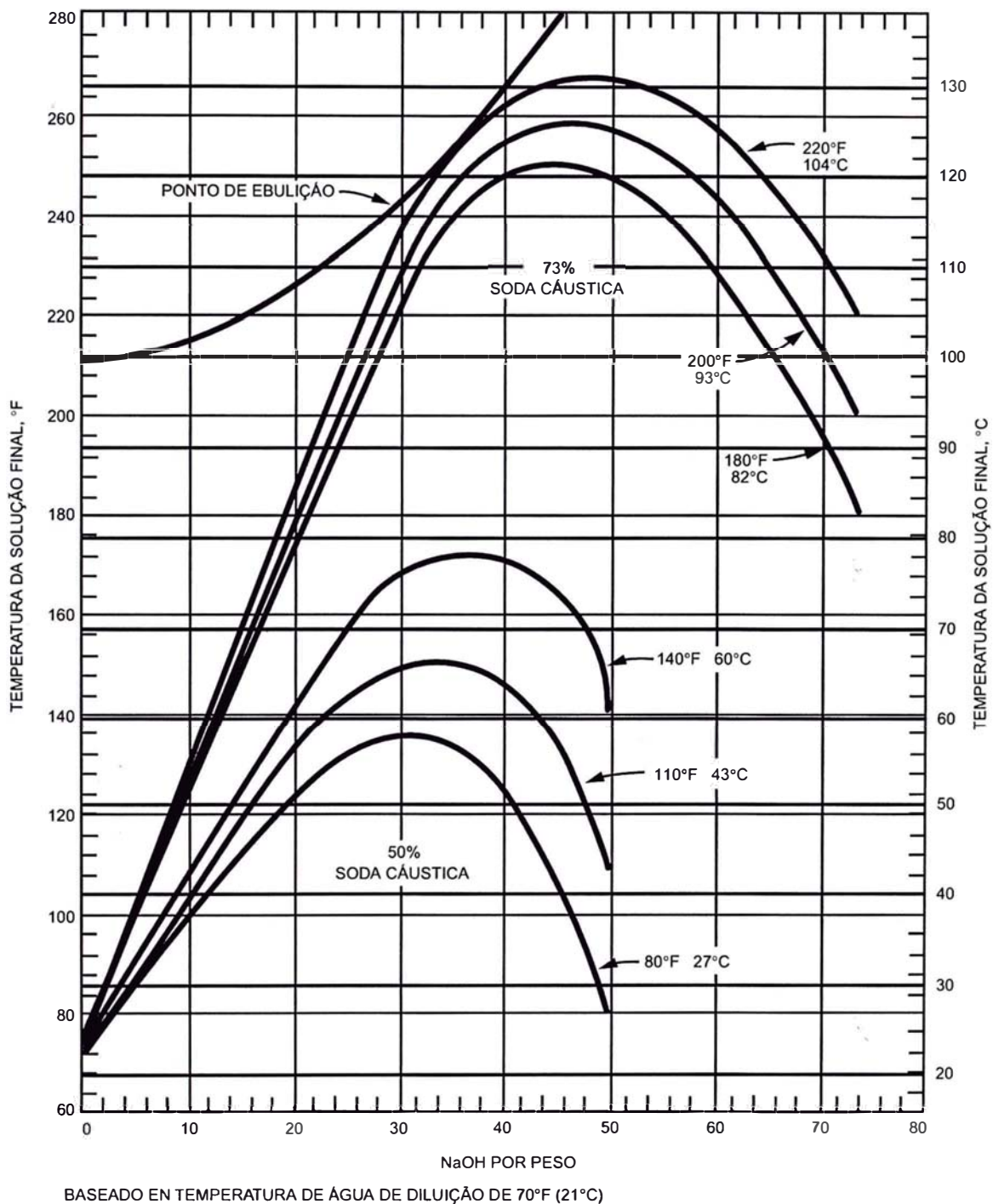


Figura 5 Viscosidade das Soluções de Soda Cáustica

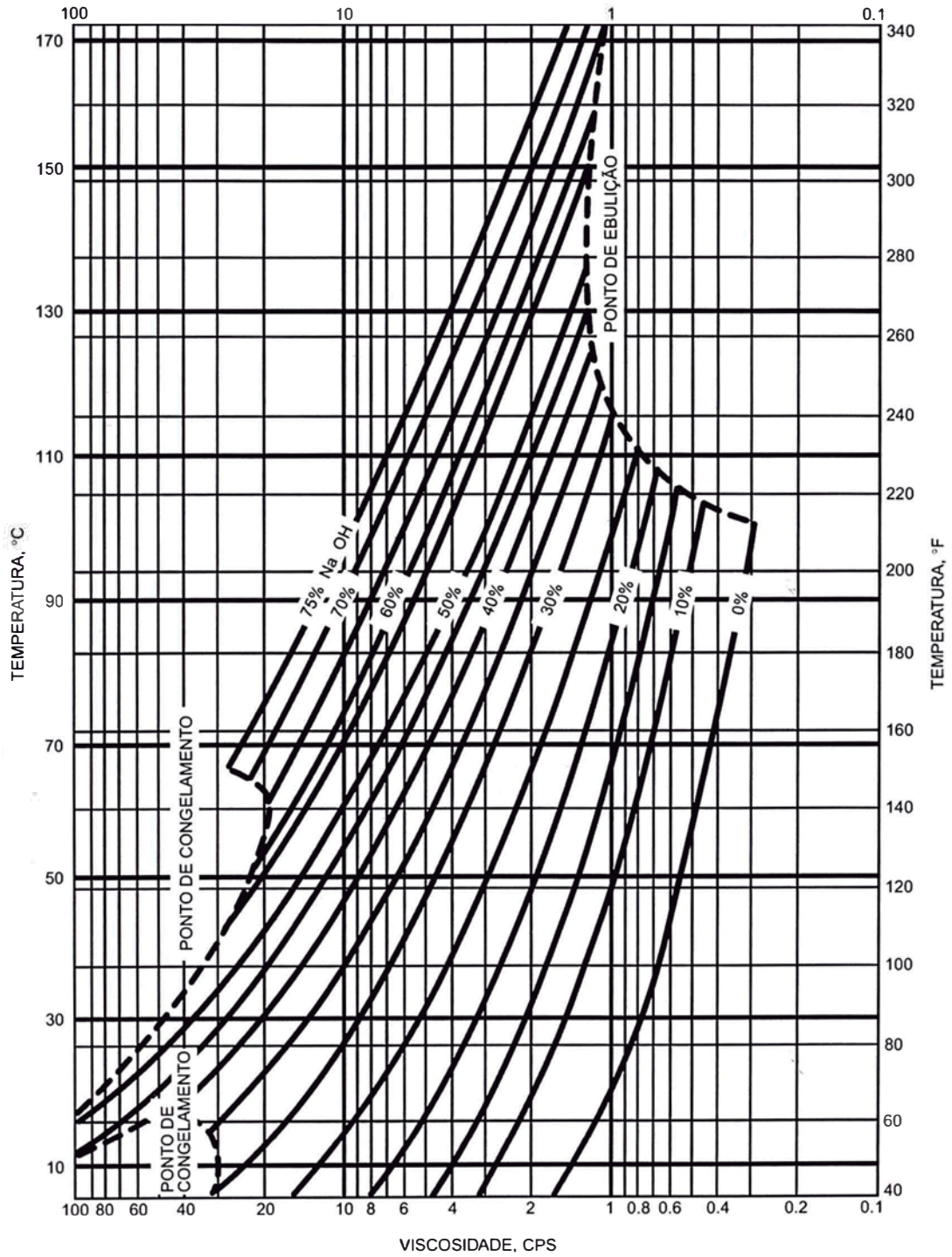
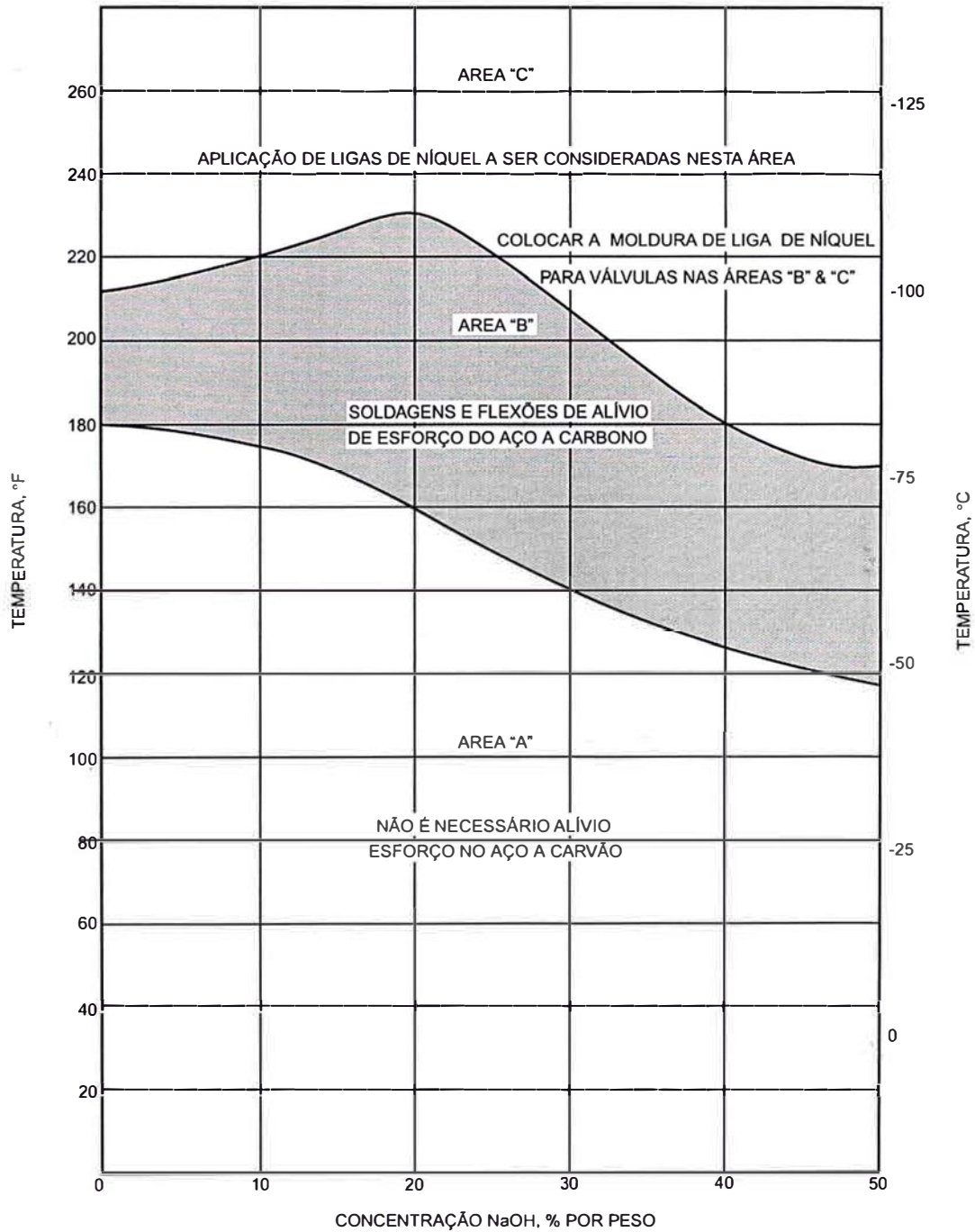
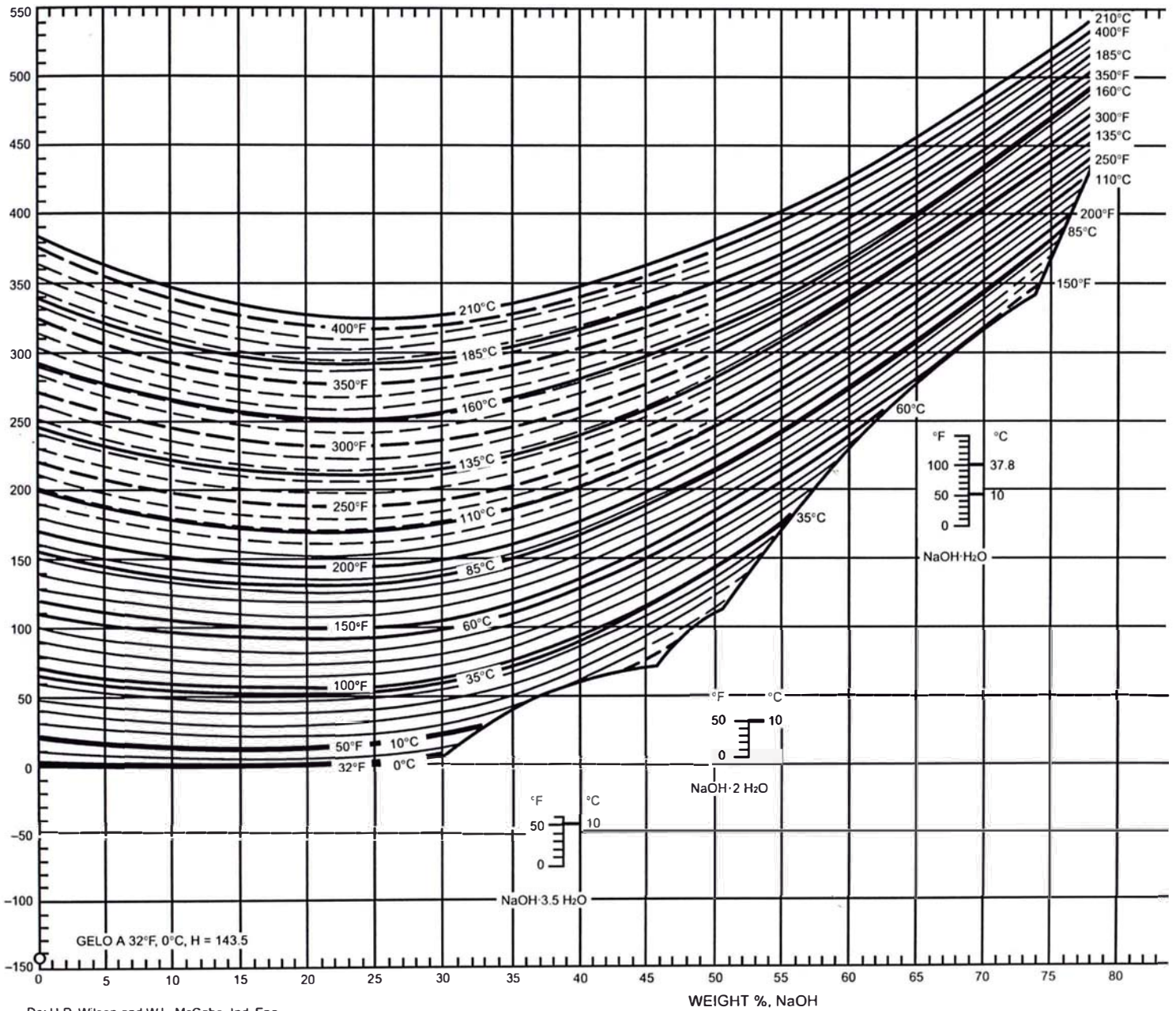


Figura 6 Gráfico de Serviço de Soda Cáustica
 Requisitos Metalúrgicos: Temperatura x Concentração de NaOH

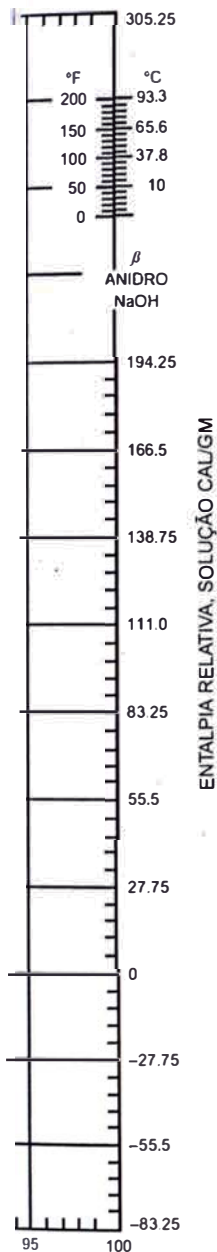


Pesquisa de Dados de Corrosão
 de NACE Quinta edição 1971

Figura 7 Diagrama de Concentração da Entalpia para Soluções de Soda Cáustica



De: H.R. Wilson and W.L. McCabe, Ind. Eng. Quim., 34.565 (1942). Utilizado por autorização.



Método de Utilização: Diagrama de Entalpia (Teor Térmico Relativo)

O diagrama à esquerda pode ser utilizado para cálculos do calor de diluição, conforme ilustrado no exemplo abaixo:

A. Determinar a quantidade de calor a ser extraída ou adicionada para alterar uma dada concentração de solução de soda cáustica de uma temperatura para outra.

Problema. Quantos BTUs (calorias) devem ser retirados de cada libra (grama) de solução para resfriar uma solução a 40% de 200°F (93°C) a 120°F (49°C)?

Solução. Com base no gráfico, o teor térmico relativo de solução de soda cáustica a 40% a 200°F (93°C) e 120°F (49°C) é de 177 BTU/libra e 110 BTU/libra, respectivamente. A quantidade de calor a ser retirada é a diferença entre esses valores, ou seja, 67 BTU/libra (120,7 cal/g) de solução.

NOTA. O gráfico da página 13 é derivado deste diagrama de concentração de entalpia. Ele é útil para determinar a temperatura das soluções de soda cáustica resultante da diluição das formas comerciais de soda cáustica com água nas temperaturas especificadas.

B. Determinar a temperatura da solução final resultante da diluição de uma solução de soda cáustica, considerando nenhuma perda térmica por radiação.

Problema. Qual é a temperatura da solução de soda cáustica a 20% resultante obtida pela utilização de água a 80°F (27°C) para diluir uma solução a 50% a 120°F (49°C)?

Solução. A partir da interseção da curva de 120°F (49°C) e da linha de soda cáustica a 50%, trace uma linha reta até a interseção da curva a 80°F (27°C) e da linha a 0%. A temperatura da solução a 20% pode ser lida no ponto onde a linha reta cruza a linha a 20%, ou seja, aproximadamente 142°F (62°C).

Armazenagem e Manuseio

Os usuários de soda cáustica são responsáveis pela criação e manutenção de um sistema de armazenagem e manuseio apropriadamente projetado. Um engenheiro projetista treinado é a pessoa mais indicada para projetar sistemas que maximizem a segurança, reduzindo, ao mesmo tempo, a manutenção do sistema. O custo capital inicial deve ser secundário em relação a esses objetivos primários. A longo prazo, o custo de um sistema instalado adequadamente, que atenda aos objetivos de segurança e manutenção, geralmente será mais baixo.

Para obter informações adicionais quanto aos equipamentos de armazenagem e tubulação, leia o Folheto 094 do The Chlorine Institute. Consulte a página 3 para obter mais detalhes.

Seguem abaixo algumas sugestões a serem consideradas com base em nossa experiência com a produção de soda cáustica.

Projeto de Sistemas de Armazenagem e Manuseio

Ao projetar o sistema de armazenagem e manuseio, lembre-se de três fatores básicos: (1) a soda cáustica é altamente corrosiva e pode constituir perigo aos funcionários; (2) a viscosidade da soda cáustica a 50% aumenta rapidamente quando sua temperatura cai abaixo de 65°F (16°C); e (3) o peso da solução de soda cáustica a 50% é 1,5 vezes o peso do mesmo volume de água.

Os tanques de armazenagem devem estar localizados de modo a minimizar o número de tubulações, especialmente dos tubos externos, onde a soda cáustica pode congelar-se em caso de falha no equipamento de aquecimento.

Igualmente importante é a necessidade de localizar a armazenagem e a tubulação em áreas de baixa circulação para eliminar o potencial de exposição de funcionários ao máximo possível.

Todos os pontos de entrada das áreas de tanques e bombas devem ter placas de aviso com os dizeres "Perigo! Soda Cáustica—Apenas Pessoal Autorizado." As regulamentações governamentais podem exigir rótulos adicionais, além da construção de fossos para conter o volume máximo de NaOH armazenado no tanque.

Deve haver lava-olhos e chuveiros de segurança em locais convenientes e prontamente acessíveis aos funcionários na área de descarregamento e em outras áreas onde a manutenção ou o processamento poderiam expor os funcionários à soda cáustica. Recomenda-se que um aviso sonoro ou outro dispositivo de alarme seja instalado no chuveiro de segurança e/ou no lava-olhos para chamar ajuda em caso de acionamento.

A autodrenagem e chuveiros de segurança aquecidos podem ser necessários em condições de congelamento. Os chuveiros de segurança e lava-olhos devem ser testados com frequência, especialmente antes de cada operação de descarregamento.

A área de descarregamento deve ser projetada para confinar e coletar os produtos drenados pela mangueira e quaisquer vazamentos ou gotejamentos das válvulas do sistema de descarregamento.

A Dow oferece um Pôster sobre o Manuseio de Soda Cáustica Líquida com Segurança e Primeiros Socorros, que descreve as roupas de proteção, precauções para descarregamento e manuseio, procedimentos de diluição e recomendações de primeiros socorros. É um material eficaz para ser afixado na área de descarregamento e armazenagem de soda cáustica para enfatizar os equipamentos de proteção adequados. Para recebê-lo, faça o pedido através do website www.dowcaustic.com.

Tanques de Armazenagem

Os tanques de aço doce com soldagem de topo são apropriados para condições de armazenagem normais. A soldagem deve ser executada com varetas adequadas tais como aquelas que contenham 1/2% de molibdênio. A temperatura para evitar a fissura de corrosão por fadiga não é necessária, a menos que sejam previstas temperaturas superiores a 120°F (49°C). (Veja a Figura 6)

Caso a contaminação do aço doce por ferro seja um problema, os tanques podem ser revestidos com uma camada resistente a soda cáustica adequada.

Os tanques verticais são preferíveis em relação aos horizontais, uma vez que ocupam menos espaço e são facilmente suportados sobre lajes de concreto. O fundo do tanque deve ser assentado em um graute asfáltico para proteção contra a corrosão externa. Todas as conexões na parte de cima do tanque devem ser agrupadas em uma pequena área próxima à borda para permitir a manutenção em um único local.

Os tanques de armazenagem devem ser aquecidos e isolados caso sejam previstas temperaturas ambientes constantes abaixo de 65°F (18°C). A espessura do isolamento dependerá do custo de energia para o aquecimento. O isolamento deve ser bem protegido com encamisamento para mantê-lo seco.

O aquecimento pode ser realizado com serpentinas de vapor ou fitas de aquecimento elétrico. Para o aquecimento interno do tanque, recomenda-se um trocador de calor de níquel do tipo baioneta. O aquecedor deve ser conectado a um flange de níquel, o qual pode ser encaixado a uma abertura de bico próxima ao fundo do tanque.

O aquecedor horizontal pode ser suportado cerca de 8" (20 cm) acima do fundo do tanque e estender-se pelo tanque de armazenagem até aproximadamente 1 pé (30 cm) do lado oposto. À medida que a solução de soda cáustica for aquecida ao redor do aquecedor, um padrão de agitação térmica será formado no tanque, resultando no aquecimento uniforme de toda a solução de soda cáustica. Recomenda-se um máximo de 15 psig (104 kPa) de vapor para aquecer a solução de soda cáustica.

Um controlador de temperatura deve ser instalado para manter a temperatura da solução de soda cáustica entre 85°–100°F (29°– 38°C). O controlador deve incluir um alarme de alta temperatura e um termopar no mesmo nível de líquido da serpentina de vapor. Isso evita que o termopar faça uma leitura incorreta da temperatura do ar, causando o superaquecimento da solução de soda cáustica restante pelas serpentinas quando o tanque estiver quase vazio. É conveniente haver outro termopar localizado ao nível dos olhos.

Caso uma fonte de vapor não esteja disponível, o tanque de armazenagem pode ser aquecido utilizando um trocador de calor horizontal elétrico do tipo baioneta semelhante ao descrito anteriormente. Além disso, a temperatura da solução de soda cáustica pode ser mantida ou aumentada lentamente utilizando uma fita elétrica de controle de calor fixada à parte externa do tanque de armazenagem. Se a fita elétrica de controle de calor for a única fonte térmica, o tanque de armazenagem deverá ser extremamente bem isolado para garantir uma perda de calor mínima da solução de soda cáustica.

Limpezas e inspeções periódicas (isto é, teste de espessura da parede) devem fazer parte do programa de manutenção preventiva do tanque de armazenagem.

Além de um alarme de nível elevado da solução, o tanque deve possuir um medidor do nível de líquido e um respiro. O respiro deve ter uma área de seção transversal pelo menos quatro vezes a da linha de enchimento (que normalmente é de 2"), estendendo-se do topo do tanque até a parte interna cerca de 3' do nível do solo. O respiro, que também atua em caso de transbordamento, deve ser visível da área de carregamento do caminhão ou vagão-tanque, de maneira que o pessoal veja e/ou ouça o extravasamento de soda cáustica por este tubo em caso de excesso de enchimento do tanque.

Não se deve instalar válvulas na linha de respiro, pois ela deve estar aberta à atmosfera em todos os momentos. Nunca utilize visores de inspeção em tanques de armazenagem de soluções de soda cáustica a 50% ou em linhas de transferência devido ao potencial de quebra e embaçamento.

Tubos e Conexões

Tubos de aço carbono sem costura Schedule 40 com soldagem de topo são recomendados. Tubos flangeados e revestidos também têm sido utilizados com sucesso. Todas as tubulações devem ser instaladas acima da superfície.

Deve-se efetuar o controle térmico de todos os tubos de processo, os quais deverão ser isolados caso sejam previstas temperaturas abaixo de 65°F (18°C) até mesmo por curtos períodos de tempo. Recomenda-se o uso de fita de aquecimento elétrico com regulagem automática. Outras fitas de aquecimento ou cabos com controle termostático também podem ser utilizados. Normalmente, não se recomenda o controle de vapor, pois a temperatura da soda cáustica pode superar rapidamente 140°F (60°C) sob condições estáticas, causando eventuais fissuras de corrosão por fadiga (Veja a Figura 6). O isolamento e a proteção contra intempéries também são necessários caso a tubulação precise ser aquecida.

Caso seja importante manter baixas concentrações de ferro na solução de soda cáustica, utilize um tubo de aço flangeado com revestimento de polipropileno (como por exemplo um tubo revestido de plástico da marca Moraf apropriado para temperaturas de 79°C [175°F]). Em virtude das propriedades perigosas da soda cáustica, tubos plásticos não suportados nunca devem ser utilizados, e os tubos de plástico reforçados com fibra de vidro devem ser utilizados cautelosamente apenas para condições específicas de uso.

Todo o sistema de tubulação deve apresentar drenagem livre, se possível, para facilitar a manutenção. Do contrário, deve-se instalar válvulas de drenagem com tampa no ponto mais baixo do sistema.

Todos os sistemas de tubos devem estar em conformidade com o código de cores e apresentar os dizeres "Soda Cáustica" escritos pelo menos a cada dez pés.

Descarregamento do Vagão-Tanque

Bombas

Embora as bombas centrífugas de aço ou ferro fundido possam ser utilizadas para soluções de soda cáustica, elas necessitam de muita manutenção e apresentam uma pequena vida útil. Para um ótimo serviço, é preferível uma Liga 20 ou equivalente. Todas as bombas devem ter uma chave de pressão alta/baixa com atraso de tempo a jusante da bomba para impedir a operação contínua quando a bomba permanecer em funcionamento ou estiver operando a seco.

Equipar uma bomba com uma vedação mecânica ou preme-gaxetas é uma questão de preferência. Entretanto, a contaminação do produto pela água utilizada para purgar as vedações mecânicas pode ser um problema. As preme-gaxetas não devem ser utilizadas se o gotejamento de soda cáustica através da preme-gaxetas constituir um risco à segurança.

Além das bombas centrífugas, as bombas de deslocamento positivo e de outros tipos são utilizadas para condições específicas. Todos os principais fabricantes especializados em bombas químicas possuem pessoal tecnicamente treinado que poderá auxiliá-lo a selecionar uma bomba, quando as condições de operação estiverem definidas. Este serviço deve ser amplamente utilizado quando houver necessidade.

Teste Final Do Sistema

Todos os sistemas de armazenagem e manuseio, novos ou reparados, devem ser testados com água sob as condições de uso antes do enchimento do sistema com a solução de soda cáustica. É muito mais fácil e seguro reparar um vazamento de água do que de soda cáustica!

As informações contidas acima não têm a intenção de serem completas uma vez que dizem respeito ao uso, manuseio, armazenagem, disposição e todas as outras atividades descritas. As pessoas que as receberem deverão fazer sua própria avaliação quanto a sua adequação e serão responsáveis pelo cumprimento de todas as leis federais, estaduais, provincianas e municipais aplicáveis e/ou outras regulamentações. Essas informações são oferecidas exclusivamente para sua consideração e verificação. A The Dow Chemical Company não será responsável, em hipótese alguma, por danos de qualquer natureza resultantes do uso, confiança nas informações ou produtos aos quais as informações estão relacionadas.

Precauções e Procedimentos Preliminares

1. Todos os funcionários devem utilizar as roupas e equipamentos apropriados. (Veja a Figura 1—Roupas e Equipamentos de Proteção, página 4)
2. Apenas os funcionários devidamente treinados nos procedimentos de manuseio com segurança e primeiros socorros devem realizar trabalhos com soda cáustica.
3. O trilho do descarregamento deve estar nivelado.
4. Quando o vagão for visto, ajuste o freio de mão e calce as rodas.
5. Placas de metal sinalizando perigo e luzes azuis devem ser colocadas no trilho, preferivelmente próximas à chave de entrada em ambas as extremidades do vagão. Essas placas não devem ser removidas até que o vagão esteja descarregado e todas as conexões desligadas.
6. A menos que o vagão esteja protegido por uma chave fechada e travada, deve-se colocar descarrilhadoras na extremidade aberta ou nas extremidades do ramal a uma distância não inferior à extensão de um vagão.
7. As adjacências da área de descarregamento do vagão e transferência para a armazenagem devem estar isoladas com fitas de segurança e sinalizadas com placas adequadas.
8. Vagões-tanque parcialmente descarregados não devem ser movidos, se possível. Caso seja necessário mover um vagão parcialmente descarregado, feche as válvulas de saída internas e externas, drene as linhas de conexão e desconecte todos os tubos e mangueiras. Em caso de descarregamento por pressão, alivie a pressão no vagão e nas linhas antes de desconectar. A tampa da cúpula deve estar fechada e todos os fechamentos com parafusos devem estar bem apertados antes de movimentar o vagão.
9. Os vagões devem ser conectados, descarregados e desconectados à luz do dia, se possível. Deve-se fornecer iluminação adequada caso estas operações tenham de ser realizadas à noite.
10. Antes de conectar o vagão à linha de descarregamento, os funcionários devem verificar se o tanque de armazenagem está ventilado adequadamente e possui capacidade para conter todo o conteúdo do vagão.
11. Os funcionários do cliente não devem entrar no vagão em hipótese alguma.
12. O vagões devem ser descarregados em uma área de contenção de derramamentos devidamente projetada.

13. Lave qualquer derramamento do vagão totalmente com água.

Para obter informações adicionais, leia o Folheto 087 do The Chlorine Institute. Consulte a página 3 para obter mais detalhes.

Instruções Gerais de Descarregamento

Todos os vagões de soda cáustica da Dow são equipados com um tubo de educação (saída de vapor) e podem ser descarregados por conexões da cúpula em cima do vagão, utilizando pressão de ar, ou pela válvula de saída inferior.

As soluções de soda cáustica são normalmente descarregadas pela válvula de saída inferior, utilizando pressão de ar ou uma bomba centrífuga para transferir a solução para um tanque de armazenagem.

Caso o fluxo de gravidade até a bomba seja utilizado, a válvula de saída dos tubos da bomba de transferência deve ser estrangulada para evitar a cavitação no lado de sucção da bomba.

O descarregamento pela cúpula utilizando pressão de ar é satisfatória para NaOH a 50%, desde que a altura total do fundo do vagão até o topo do tanque de armazenagem não seja superior a 30 pés.

Confirmando Se um Vagão de Solução de Soda Cáustica a 50% Está Vazio

Para garantir que um vagão de solução de soda cáustica a 50% tenha sido completamente esvaziado, ele deve ser inspecionado visualmente.

1. Abra a válvula de respiro para equalizar a pressão.
2. Abra a tampa da cúpula.
3. Confirme visualmente se a solução de soda cáustica residual forma uma camada de líquido não superior a 1 pé de largura.

NOTA: se uma lâmpada for utilizada para inspeção, ela deverá ser à prova de explosão devido à possibilidade da presença de uma mistura explosiva de hidrogênio e oxigênio no vagão. Recomenda-se uma lâmpada de corrente contínua.

NOTA: para evitar que a lâmpada caia no vagão durante a inspeção, amarre-a com uma corda ou outro meio para a fácil recuperação.

4. Prepare o vagão-tanque vazio para retornar à Dow (veja página 25). Caso uma camada residual maior que 12" seja encontrada, será necessário retirar a solução de soda cáustica que restou.

Descarregamento Superior com Pressão de Ar

A Figura 8 mostra uma disposição típica para o descarregamento de soda cáustica através de um tubo de educação por pressão de ar.

Roupas e equipamentos de proteção individual devem ser utilizados durante todas as etapas de preparação, bem como durante o descarregamento. Os lava-olhos e chuveiros de segurança devem ser verificados quanto ao funcionamento satisfatório antes do início das operações de descarregamento.

1. Certifique-se de que o respiro do tanque de armazenagem esteja aberto e que o tanque tenha volume suficiente para armazenar o conteúdo do vagão.
2. Retire a carcaça protetora que cobre a entrada de ar e as válvulas do tubo de educação em cima do vagão.
3. Abra a válvula da conexão da entrada de ar de 1" lenta e cuidadosamente para aliviar e equalizar a pressão no vagão.
4. Abra a tampa da cúpula somente para coletar uma amostra de retenção de NaOH a 50% do vagão.
5. Após a coleta da amostra, feche a tampa, certificando-se de que a cúpula esteja seguramente fechada antes de prosseguir.
6. Conecte a linha de descarregamento à conexão da válvula do tubo de descarga.
7. Conecte a linha de suprimento de ar à válvula de entrada de ar localizada em cima do vagão. Abra a válvula de entrada de ar e lentamente aplique pressão de ar, cujo valor típico é 30 psi.
8. Cuidadosamente abra a válvula de saída do tubo de educação até que haja um fluxo suficiente de soda cáustica para o tanque de armazenagem.
9. Verifique se há vazamentos.
10. Caso encontre um vazamento, feche a válvula do tubo de saída de educação, interrompa o fluxo de ar pressurizado para o vagão e alivie a pressão de ar do vagão.
11. Elimine todos os vazamentos de ar ou solução ao apertar ou repor o tubo ou conexão que apresentar o vazamento.
12. Aplique pressão de ar ao vagão lentamente e abra a válvula de saída do tubo de educação até que haja um fluxo de soda cáustica suficiente para o tanque de armazenagem.

13. Faça ajustes na pressão de ar, se necessário, até que o vagão-tanque esteja vazio.

NOTA: uma queda de pressão, ou o som de precipitação de ar, indica que o vagão está vazio.

14. Quando a linha de descarregamento estiver completamente drenada, feche a linha de suprimento de ar e deixe o sistema descansar por alguns minutos para aliviar toda a pressão interna do vagão. Permita a drenagem do tubo de descarga.
15. Feche a válvula de entrada de ar, despressurize a linha de entrada de ar e, em seguida, desfaça as conexões da linha de suprimento da entrada de ar na cúpula.
16. Feche a válvula de saída do tubo de educação.
17. Inspeção o vagão visualmente para confirmar que ele esteja vazio. Consulte o item "Confirmando Se um Vagão de Solução de Soda Cáustica a 50% Está Vazio" na página 21.

18. Libere e desconecte a mangueira de carregamento.

19. Limpe a mangueira de descarregamento com vapor ou água dentro da área de contenção.

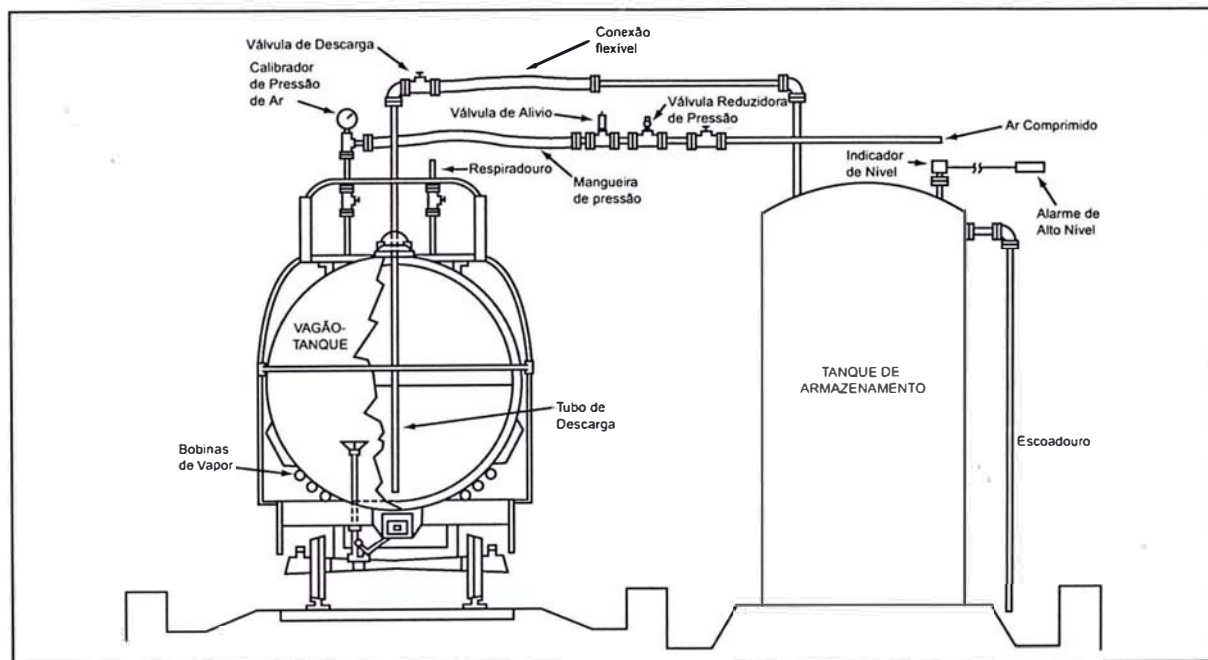
20. Prepare o vagão para retornar à Dow. Consulte a página 25 para obter mais detalhes.

Descarregamento pela Válvula de Saída Inferior por meio de Bombas

Recomenda-se este procedimento para descarregar soluções de soda cáustica a 50%. Consulte a Figura 9 para conhecer o layout típico do descarregamento de solução de soda cáustica com bombas.

Roupas e equipamentos de proteção individual devem ser utilizados durante todas as etapas de preparação, bem como durante o descarregamento. Os lava-olhos e chuveiros de segurança devem ser verificados quanto ao funcionamento satisfatório antes do início das operações de descarregamento.

Figura 8 Layout do Descarregamento de Soda Cáustica por Cima com Pressão de Ar



1. Certifique-se de que o respiro do tanque de armazenamento esteja aberto e que o tanque tenha volume suficiente para armazenar o conteúdo do vagão.
2. Abra a válvula da conexão da entrada de ar de 1" lenta e cuidadosamente para aliviar e equalizar a pressão no vagão.
3. Abra a tampa do poço de visita e certifique-se de que a válvula permaneça levemente aberta durante a operação de descarregamento.
4. Se necessário, aqueça a válvula externa de saída inferior e a solução de soda cáustica a 50% totalmente ao conectar uma linha de vapor à jaqueta de vapor na conexão de descarga inferior.
5. Retire o plugue da válvula externa de saída inferior com cuidado. Pode ser necessário utilizar uma segunda chave de apoio para evitar que a válvula externa de saída inferior gire durante a remoção do plugue da válvula.
6. Conecte a linha de descarregamento à válvula externa de saída inferior.
7. Abra a válvula externa de saída inferior.
8. Abra a válvula interna de saída inferior ao girar a haste da alavanca da válvula de cima do vagão* e deixe a soda cáustica a 50% fluir para a bomba.
9. Verifique se há vazamentos.
10. Faça o devido fechamento para corrigir vazamentos antes de prosseguir para a próxima etapa.
11. Ligue a bomba.
12. Verifique se há vazamentos novamente. Faça o fechamento devido para corrigir vazamentos durante o processo de descarregamento.
13. Quando o vagão estiver vazio, desligue a bomba e feche a válvula externa de saída inferior e, em seguida, a válvula interna de saída inferior.
14. Inspeção o vagão visualmente para confirmar que ele esteja vazio. Consulte o item "Confirmando Se um Vagão de Solução de Soda Cáustica a 50% Está Vazio" na página 21.
15. Libere e desconecte a mangueira de carregamento.
16. Limpe a mangueira de descarregamento com vapor ou água dentro da área de contenção.
17. Prepare o vagão para retornar à Dow. Consulte a página 25 para obter mais detalhes.

Descarregamento pelo Fundo com Pressão de Ar

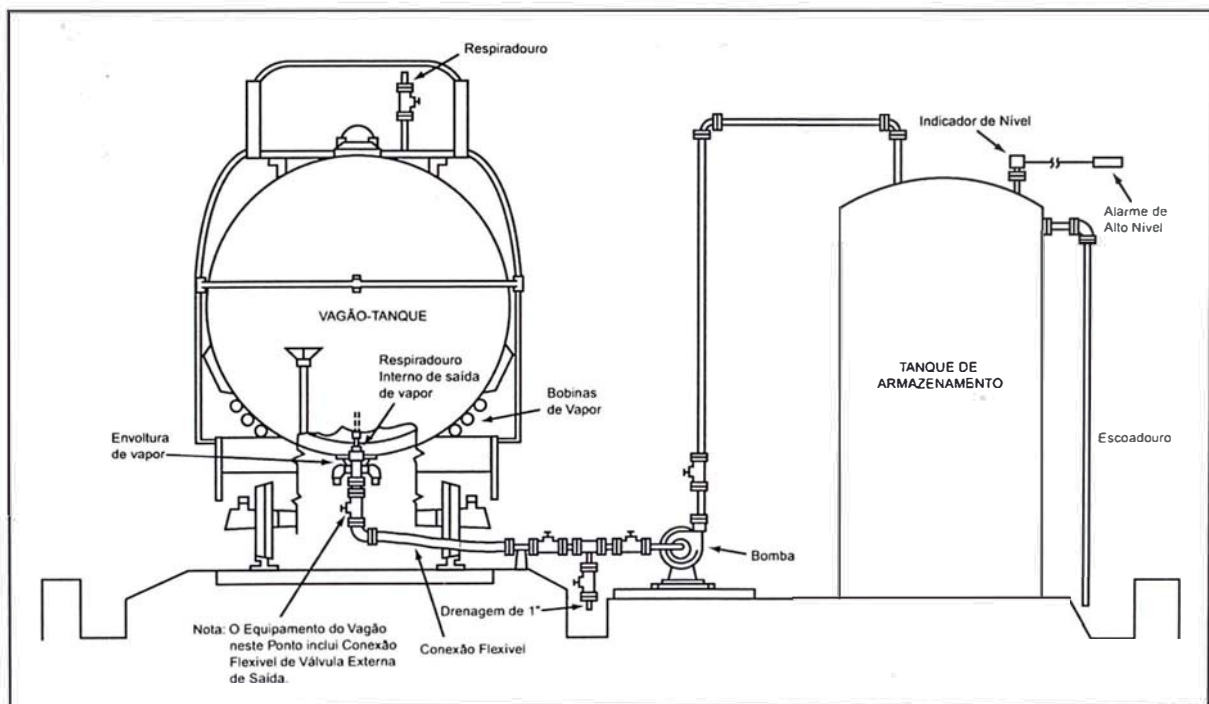
Roupas e equipamentos de proteção individual devem ser utilizados durante todas as etapas de preparação, bem como durante o descarregamento. Os lava-olhos e chuveiros de segurança devem ser verificados quanto ao funcionamento satisfatório antes do início das operações de descarregamento.

1. Certifique-se de que o respiro do tanque de armazenamento esteja aberto e que o tanque tenha volume suficiente para armazenar o conteúdo do vagão.
2. Se necessário, aqueça a válvula externa de saída inferior e a solução de soda cáustica a 50% totalmente ao conectar uma linha de vapor à jaqueta de vapor na conexão de descarga inferior.
3. Retire a carcaça protetora que cobre a entrada de ar e as válvulas do tubo de educação em cima do vagão.
4. Abra a válvula da conexão da entrada de ar de 1" lenta e cuidadosamente para aliviar e equalizar a pressão no vagão.
5. Abra a tampa da cúpula somente para coletar uma amostra de retenção de NaOH a 50% do vagão.
6. Após a coleta da amostra, feche a tampa, certificando-se de que a cúpula esteja seguramente fechada antes de prosseguir.
7. Retire o plugue da válvula externa de saída inferior com cuidado. Pode ser necessário utilizar uma segunda chave de apoio para evitar que a válvula externa de saída inferior gire durante a remoção do plugue da válvula.
8. Conecte a linha de descarregamento à válvula externa de saída inferior.
9. Abra a válvula externa de saída inferior.
10. Verifique novamente para checar se a tampa do poço de visita está fechada com segurança.
11. Conecte a linha de suprimento de ar à válvula de entrada de ar localizada em cima do vagão. Abra a válvula de entrada de ar e lentamente aplique pressão de ar, cujo valor típico é 30 psi.
12. Abra a válvula interna de saída inferior, ao girar a haste da alavanca da válvula de cima do vagão*, e deixe a soda cáustica a 50% fluir.
13. Verifique se há vazamentos.

*Se a alavanca da válvula de saída não girar sob pressão moderada, isso indica que ainda há soda cáustica congelada no fundo do vagão, portanto é necessário mais vapor. NÃO TENHA FORÇAR A ALAVANCA.

14. Caso encontre um vazamento, feche as válvulas internas e externas de saída inferior, interrompa o fluxo de ar pressurizado para o vagão e alivie a pressão de ar do vagão.
15. Elimine todos os vazamentos de ar ou de solução de soda cáustica ao apertar ou reporo tubo ou conexão que apresentar o vazamento.
16. Aplique pressão de ar lentamente ao vagão. Abra a válvula externa de saída inferior e, em seguida, a válvula interna de saída inferior até que haja vazão suficiente de solução de soda cáustica para o tanque de armazenagem.
17. Faça ajustes de pressão de ar, se necessário, até que o vagão esteja vazio.
NOTA: uma queda de pressão, ou o som de precipitação de ar, indica que o vagão está vazio.
18. Quando a linha de descarregamento estiver completamente drenada, feche a linha de suprimento de ar e deixe o sistema descansar por alguns minutos para aliviar toda a pressão interna do vagão. Permita a drenagem do tubo de descarga.
19. Feche a válvula de entrada de ar, despressurize a linha de entrada de ar e, em seguida, desfaça as conexões da linha de suprimento da entrada de ar na cúpula.
20. Feche as válvulas internas e externas de saída inferior.
21. Inspeção o vagão visualmente para confirmar que ele esteja vazio. Consulte o item "Confirmando Se um Vagão de Solução de Soda Cáustica a 50% Está Vazio" na página 21.
22. Libere e desconecte a mangueira de carregamento.
23. Limpe a mangueira de descarregamento com vapor ou água dentro da área de contenção.
24. Prepare o vagão para retornar à Dow. Consulte a página 25 para obter mais detalhes.

Figura 9 Layout do Descarregamento de Soda Cáustica a 50% por Baixo com Bombas



Preparação para Retornar o Vagão-Tanque Vazio à Dow

Após o descarregamento, o vagão-tanque deverá ser retornado imediatamente. As rotas da Dow deverão ser sempre seguidas. Caso elas não tenham sido publicadas, entre em contato com um representante da Dow para obter instruções específicas.

Os procedimentos abaixo devem ser cuidadosamente seguidos durante a preparação do vagão-tanque vazio para o retorno:

1. Desconecte as linhas de vapor e aplique ar comprimido nas serpentinas de aquecimento.
2. Após retirar todas as conexões, reponha as tampas em todas as aberturas do tanque. Feche bem a tampa da cúpula.
3. Dentro da área de contenção, lave com água as linhas ou mangueiras de descarregamento e quaisquer derramamentos sobre ou ao redor do vagão-tanque.
4. No Canadá, segundo as regulamentações atuais de Transporte de Produtos Perigosos (TDG), é exigida uma placa de resíduos para TRANSPORTES DOMÉSTICOS de produtos regulados por ferrovia. Portanto, uma placa descrevendo os RESÍDUOS do último produto perigoso contido no tanque deve ser afixada ao vagão.

Esta exigência continuará em vigor até que a regulamentação da TDG sobre "Linguagem Clara" entre em vigor em 15 de agosto de 2002. Após essa data, a exigência de exibir uma placa de resíduos será cancelada.

Descarregamento do Caminhão-Tanque

Os procedimentos para descarregar caminhões-tanque são semelhantes aos dos vagões-tanque, exceto pelo fato de que as pressões e locais das conexões podem variar de um caminhão para outro. O operador de descarregamento deverá verificar o local de todas as conexões antes do procedimento. O motorista do caminhão deve estar familiarizado com essas localizações. Sugerimos que você converse com o motorista a respeito dos detalhes do veículo antes de iniciar as operações de descarregamento.

O motorista do caminhão-tanque de soda cáustica geralmente é responsável pelo descarregamento, sendo necessário apenas um segundo conector macho de 2" no sistema de permanente descarregamento do cliente. Lembre-se: você é responsável por ratificar que o motorista conectou a mangueira de descarregamento ao tanque adequado e que o tanque tenha um espaço vazio suficiente para conter todo o conteúdo do caminhão.

O operador de descarregamento do caminhão-tanque deve utilizar os mesmos equipamentos de proteção e seguir as precauções de segurança descritas nas páginas 4 e 5 deste Manual. Óculos de segurança bem ajustados ao rosto e luvas resistentes a produtos químicos, no mínimo, devem ser sempre utilizados ao manusear uma solução de soda cáustica. Além dos equipamentos de proteção individual mínimos, uma roupa completa de proteção química (jaqueta e calças), um capacete com máscara facial completa (além dos óculos para proteção química) e botas resistentes a produtos químicos são exigidos durante a conexão e desconexão de mangueiras e no início do processo de transferência.

Chuveiros de segurança e lava-olhos devem ser fornecidos. Eles devem ser sempre testados antes da conexão e do início do descarregamento.

Constitui uma prática comum o descarregamento com ar, normalmente fornecido pelo cliente, mas que também pode ser fornecido pelo motorista do caminhão (Figura 10). Para elevações de descarga acima de 30', recomenda-se o descarregamento da soda cáustica por meio de bombas fornecidas pelo cliente, ou pelo motorista, caso ele seja notificado com antecedência (Figura 11).

Quando o descarregamento estiver concluído, deverá haver água disponível para que o motorista possa lavar e diluir qualquer soda cáustica restante na mangueira de descarregamento, bem como pequenos derramamentos. Os locais de coleta devem estar equipados para conter derramamentos e limpar cursos de água.

Lembre-se: durante as operações em climas frios, os caminhões-tanque não possuem serpentinas de aquecimento. Quando o conteúdo do caminhão esfriar, a viscosidade do NaOH a 50% aumenta rapidamente. Sob viscosidades mais elevadas, a pressão de saída da bomba de descarregamento pode não ser elevada o suficiente para superar a altura de carga necessária para efetuar o bombeamento para dentro do tanque de armazenagem.

Para obter informações adicionais, leia o Folheto 088 do The Chlorine Institute. Consulte a página 3 para obter mais detalhes.

Figura 10 Descarregamento de Soda Cáustica por Cima do Caminhão-Tanque com Pressão de Ar

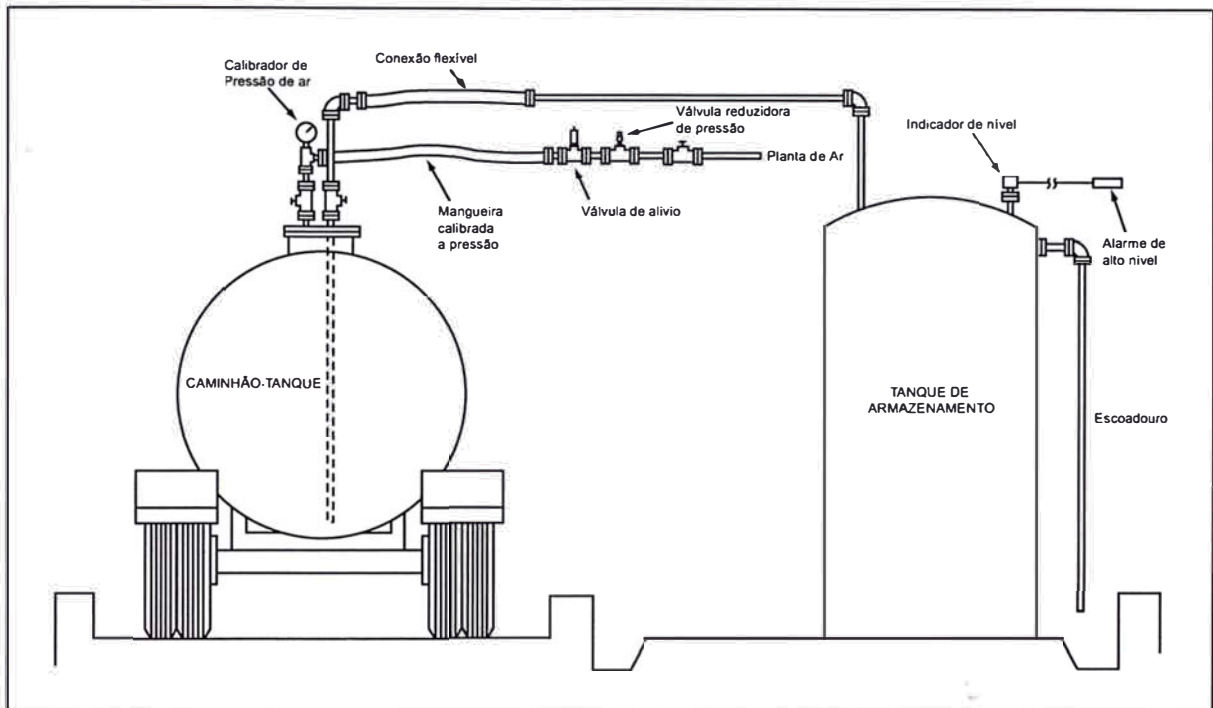
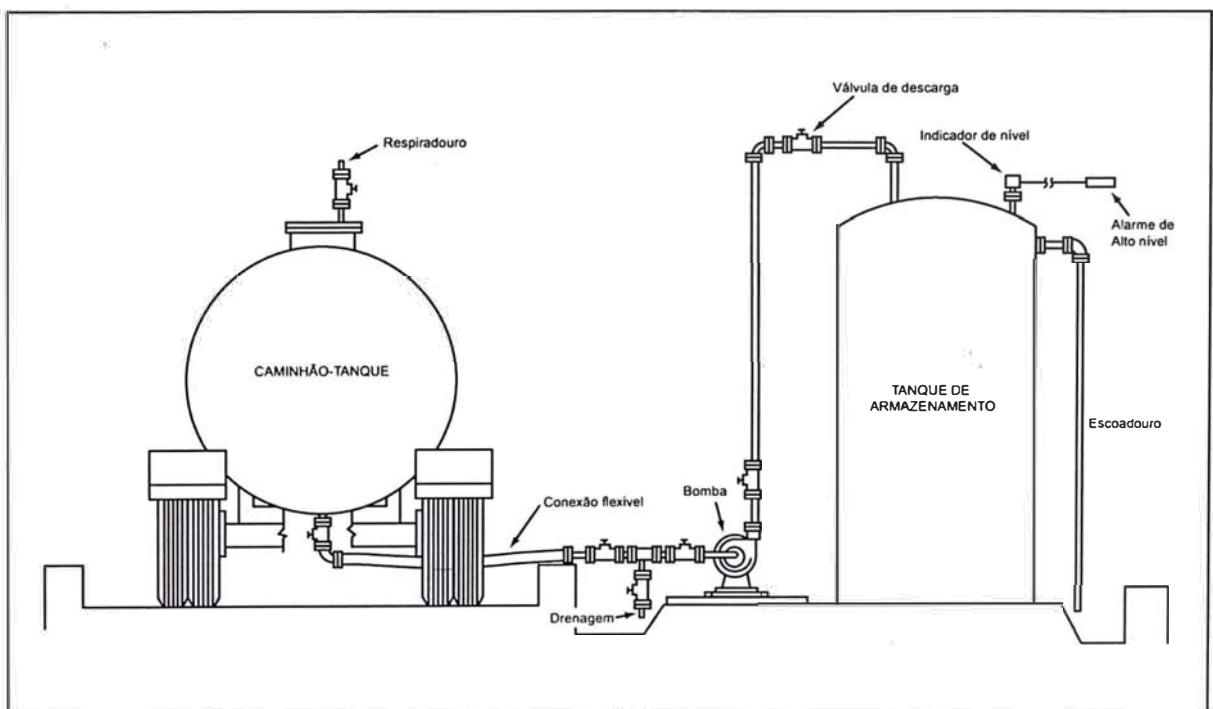


Figura 11 Descarregamento de Soda Cáustica por Baixo do Caminhão-Tanque com Bomba



Aplicação de Vapor no Vagão-Tanque

Os vagões-tanque de soda cáustica da Dow são isolados para ajudar a evitar o congelamento. Entretanto, uma vez que as soluções comerciais congelam-se a temperaturas relativamente elevadas [a solução a 50% começa a congelar-se a cerca de 15°C (60°F)], atrasos devido ao trânsito em climas frios podem causar um pouco de congelamento. Portanto, é sempre recomendável verificar a temperatura da solução antes do descarregamento.

Se a temperatura de uma remessa de solução a 50% estiver acima de 29°C (85°F), ela geralmente pode ser descarregada sem aplicação de vapor. Se a temperatura estiver abaixo de 18°C (65°F), a aplicação de vapor é quase sempre necessária. Entre 18°C (65°F) e 29°C (85°F), geralmente é uma boa idéia aquecer o vagão para reduzir a viscosidade da solução para um descarregamento mais fácil e rápido.

Principais Pontos para o Descongelamento da Soda Cáustica em Vagões-Tanque

Muitas vezes não é necessário aquecer todo o vagão-tanque porque não é o conteúdo do vagão que restringe o descarregamento, mas a soda cáustica que se congela ao redor da válvula de saída. Como medida inicial para a aplicação de vapor a um vagão de soda cáustica, é apenas necessário aplicar vapor na área ao redor da válvula de saída com uma lança de vapor. Se após a conclusão desse procedimento a soda cáustica ainda não puder ser bombeada, poderá ser necessário aquecer o conteúdo do vagão. Todos os vagões utilizados para transportar soda cáustica na Dow têm serpentinas de vapor que permitem que os clientes aqueçam seu conteúdo com segurança e facilidade. Ao seguir as diretrizes abaixo, esta operação pode ser concluída com segurança e eficácia.

- Como para qualquer operação de descarregamento de soluções de soda cáustica, deve-se utilizar equipamentos de segurança adequados. A proteção mínima inclui óculos de segurança bem ajustados ao rosto, luvas resistentes a produtos químicos e capacete. (Consulte a página 4 para obter mais informações.)
- O vagão deve ter um respiro para evitar o acúmulo de pressão em seu interior. Isso pode ser realizado ao abrir a tampa do poço de visita ou a válvula do respiro na parte de cima do vagão.
- O suprimento de vapor deve ser regulado até 15 psig para evitar danos ao revestimento do vagão.

- Um purgador de condensado deve ser instalado na serpentina de vapor de saída para maximizar a eficiência do aquecimento.
- O aquecimento contínuo após a liquefação da soda cáustica irá desperdiçar vapor e pode danificar o revestimento especial do interior do vagão. A temperatura da solução de NaOH a 50% nunca deve exceder 66°C (150°F) em vagões revestidos.

Nunca aplique calor através da aspersão de vapor diretamente em um vagão revestido sem a expressa permissão da Dow. Os vagões revestidos não devem ser utilizados como tanques de mistura.

Quando a soda cáustica estiver completamente descongelada, o vagão estará pronto para a amostragem e descarregamento. Feche e desconecte as linhas de vapor antes de iniciar o descarregamento.

CUIDADO: a aplicação contínua de vapor nas serpentinas após a solução ter caído abaixo da superfície da serpentina de aquecimento irá destruir a revestimento do vagão-tanque. Em climas extremamente frios, continue a aplicar vapor na perna da saída inferior externa até que seja iniciado o fluxo de soda cáustica para a armazenagem.

Em climas frios, geralmente é necessário pré-aquecer as linhas de descarregamento para evitar sua obstrução. Isso pode ser realizado com um controle de vapor máximo de 15 psi (103 kpa) ou por um controle térmico elétrico. Em ambos os casos, a linha de descarregamento deverá estar bem isolada.

Todas as partes horizontais da linha de descarregamento para o topo do tanque de armazenagem devem manter uma drenagem livre em direção ao tanque. Isso irá garantir que esta porção da linha esteja vazia, exceto durante o descarregamento.

Resumo

A solução de soda cáustica é um material altamente corrosivo. Ela também é uma matéria-prima importante para a fabricação de uma ampla gama de produtos de valor.

Este manual oferece uma série de avisos quanto às possíveis conseqüências do indevido manuseio e armazenagem de soluções de soda cáustica, além de recomendações quanto aos devidos procedimentos e práticas.

Através dos esforços de *Atuação Responsável*® da Dow, os clientes podem receber vários materiais, desde Fichas de Dados de Segurança de Materiais até apresentações em vídeo sobre o manuseio seguro, que somam e reforçam as informações sobre o manuseio seguro fornecidas neste manual. Juntos, esses materiais representam um excelente ponto de partida para que os clientes desenvolvam seus próprios programas de responsabilidade de soda cáustica...para colocar em prática os procedimentos para o manuseio, utilização, armazenagem e disposição da soda cáustica com segurança e responsabilidade.

Para obter informações adicionais sobre as o manuseio seguro da soda cáustica Dow, acesse o website www.dowcaustic.com, entre em contato com o representante de vendas da Dow ou telefone para um dos números relacionados na contracapa deste impresso.



Atuação Responsável® é uma marca registrada do ABIQUIM

DOW QUÍMICA S.A.

Caixa Postal 3174, 01065

São Paulo - SP Brasil

CEP 01060-970

+55 11 5188-9222

THE DOW CHEMICAL COMPANY

2020 Dow Center

Midland, Michigan 48674

1-800-447-4DOW (4369)

DOW EUROPE S.A.

Admin & R&D,

Bachtobelstr. 3, CH-8810

Horgen, Suíça

+800 36946367

DOW CHEMICAL PACIFIC LTD.

47/F Sun Hung Kai Centre

30 Harbour Road

Wanchai, Hong Kong

+852 2 879 7260

DOW CHEMICAL CANADA INC.

Suite 2200, Bow Valley Square 4

250 - 6th Avenue S.W.

Calgary, Alberta

Canadá T2P 3H7

1-800-447-4DOW (4369)

**Para obter mais informações
Acesse www.dowcaustic.com
Ligue para (55) 11 5188-9222**

AVISO: Não se deve inferir nenhuma liberdade para infringir nenhuma patente de propriedade do Vendedor ou de terceiros. Como as condições de utilização e as leis aplicáveis podem variar de um local a outro e mudar com o tempo, o Cliente é responsável por determinar se os produtos e as informações prestadas neste documento são adequados ao uso que o Cliente fará dos produtos e por garantir que seu local de trabalho e os métodos de descarte estejam em conformidade com as leis aplicáveis e outros regulamentos governamentais. O Vendedor não assume nenhuma obrigação nem responsabilidade pelas informações fornecidas neste documento. NÃO SE CONCEDE NENHUMA GARANTIA; SE EXCLUEMEXPRESSAMENTE TODAS AS GARANTIAS IMPLÍCITAS DE COMERCIALIZAÇÃO OU DE ADEQUAÇÃO PARA UM USO ESPECÍFICO.



ANEXO 02

MANUAL DE CLORO

Janeiro 2004

MANUAL DE CLORO

Adaptação do "The Chlorine Manual - Sixth Edition,
January 1997", realizada pela CLOROSUR com autorização do
The Chlorine Institute, Inc

ÍNDICE

i. Introdução			
Clorosur			
O Manual de Cloro			
Atuação Responsável			
Declaração de Isenção de Responsabilidade			
Reprodução			
1. Informações Gerais	1		
1.1 Fabricação de Cloro	1		
1.2 Transporte de Cloro	1		
1.3 Outros Aspectos Regulamentares	1		
1.4 Propriedades Físicas e Químicas	1		
1.5 Terminologia	1		
1.6 Riscos para a Saúde	2		
1.7 Outros Riscos	2		
1.8 Recipientes/Embalagens para Cloro	3		
2. Cilindros Pequenos e Grandes	4		
2.1 Descrição dos Cilindros	4		
2.2 Válvulas dos Cilindros	4		
2.3 Dispositivos de Alívio de Pressão	5		
2.4 Expedição dos Cilindros	5		
2.5 Rotulagem e Emplacamento de Cilindros	5		
2.6 Manuseio de Cilindros	5		
2.7 Armazenamento de Cilindros	6		
2.8 Uso dos Cilindros	7		
3. Transporte a Granel	9		
3.1 Geral	9		
3.2 Caminhões Tanque	9		
3.3 Vagões Tanque	11		
3.4 Tanques Portáteis	11		
3.5 Barcaças	11		
4. Medidas de Emergência	12		
4.1 Geral	12		
4.2 Atendimento a Vazamentos de Cloro	12		
4.3 Incêndios	12		
4.4 Vazamentos	12		
4.5 Emergências no Transporte	14		
4.6 Direcionamento do Cloro em Emergências	14		
4.7 Sistemas de Absorção	14		
4.8 Kits de Emergência e Recipientes de Recuperação	14		
4.9 Reporte de acidentes	15		
5. Segurança e Treinamento de Funcionários	16		
5.1 Treinamento de Funcionários	16		
5.2 Equipamento de Proteção Individual (EPI)	16		
5.3 Entrada em Espaços Confinados	17		
5.4 Monitoramento de Exposição ao Cloro	17		
6. Aspectos Médicos e Primeiros Socorros	18		
6.1 Riscos à Saúde	18		
6.2 Medidas Preventivas de Saúde	18		
6.3 Primeiros Socorros	18		
6.4 Cuidados Médicos para a Exposição ao Cloro	19		
7. Projetos de Engenharia e Manutenção	20		
7.1 Estruturas	20		
7.2 Ventilação	20		
7.3 Materiais de Construção para Equipamentos de Processo	20		
7.4 Células Eletrolíticas	21		
7.5 Cloradores	21		
7.6 Evaporadores	21		
7.7 Equipamentos	22		
7.8 Tubulações para Cloro Seco	22		
7.9 Tubulações para Cloro Úmido	23		

7.10	Tanques Estacionários	24
7.11	Manutenção de Equipamentos	24
7.12	Neutralização de Cloro	24

8.	Dados Técnicos	25
8.1	Geral	25
8.2	Propriedades Atômicas e Moleculares	25
8.3	Propriedades Químicas	25
8.4	Propriedades Físicas	26

9.	Referências Seleccionadas	34
9.1	Referências do Chlorine Institute	34
9.2	Outras Referências	35

Ilustrações

Fig. 2.1	Cilindro Pequeno	4
Fig. 2.2	Cilindro Grande	4
Fig. 2.3	Válvula Padrão de Cilindro Pequeno	5
Fig. 2.4	Válvula Padrão de Cilindro Grande	5
Fig. 2.5	Bujão Fusível de Cilindro Grande	5
Fig. 2.6	Exemplo de Barra Elevatória para Movimentação de Cilindros Grandes	6
Fig. 2.7	Conexão Tipo "Sargento ou Yoke" e Adaptador	8

Fig. 3.1	Caminhão Tanque de Cloro	9
Fig. 3.2	Boca de Visita e Arranjo das Válvulas	9
Fig. 3.3	Válvula Angular Padrão	9
Fig. 3.4	Válvula de Excesso de Vazão	10
Fig. 3.5	Válvula de Segurança Padrão	10
Fig. 4.1	Kit de Emergência Tipo A para Cilindros Pequenos de Cloro	15

Gráficos

Fig. 8.1	Pressão de Vapor de Cloro Líquido	28
Fig. 8.2	Relação Temperatura/Densidade de Cloro Líquido	29
Fig. 8.3	Solubilidade de Cloro em Água	30
Fig. 8.4	Relação Volume/Temperatura de Cloro Líquido em um Recipiente Carregado até o Limite Permitido	31
Fig. 8.5	Solubilidade de Água em Cloro Líquido	32
Fig. 8.6	Solubilidade de Água em Cloro Líquido	33

Tabelas

2.1	Dimensões e Pesos de Cilindros	6
4.1	Soluções Alcalinas Recomendadas para Absorção	15

INTRODUÇÃO

CLOSUR ASSOCIAÇÃO LATINO-AMERICANA DA INDÚSTRIA DE CLORO, ÁLCALIS E DERIVADOS

História

A Clorosur (Associação Latino - Americana da Indústria de Cloro, Álcalis e Derivados) foi fundada em março de 1997, durante a reunião anual do Chlorine Institute , realizada em New Orleans – Estados Unidos. Foi fundada por 11 empresas, representando 7 países, e por um membro honorário , Dr. Robert G. Smerko , à época Presidente do Chlorine Institute.

Missão da Clorosur

A Clorosur tem como missão desenvolver e implementar iniciativas que promovam a indústria latino-americana produtora e consumidora de cloro-soda e derivados, além de colaborar com as autoridades e a população nos campos da segurança, saúde e meio ambiente.

Princípios de Atuação da Clorosur

- Valorização do uso de cloro-soda e derivados.
- Divulgação das melhores tecnologias existentes no mundo para estocagem, uso, manuseio e distribuição desses produtos.
- União de toda cadeia produtiva, fornecedores, clientes e usuários da indústria de cloro.
- Estabelecimento de intercâmbio com entidades nacionais e internacionais ligadas ao setor de cloro-soda e seus derivados.
- Realização de estudos técnicos, através de parcerias com as comunidades científica e acadêmica.
- Criação de comitês de trabalho para uniformização de procedimentos nas áreas de comunicação, meio ambiente, manuseio, transporte e estocagem do cloro, de acordo com os princípios do Programa Internacional de Atuação Responsável.
- Fluxo contínuo de informações sobre o cloro e sua indústria para as comunidades e integrantes das empresas associadas, visando a defesa da imagem do setor.

O MANUAL DE CLORO

O emprego universal de cloro e a necessidade de se divulgar informações confiáveis , e reconhecidas internacionalmente , sobre os procedimentos de segurança para o manuseio seguro do produto resultaram na publicação do primeiro Manual do Cloro (“Chlorine Manual”) pelo Chlorine Institute, em 1947. Edições subseqüentes foram publicadas em 1954, 1959, 1969 e 1986 e 1997.

O Chlorine Institute , fundado em 1924 , é uma associação formada por empresas e outras entidades que estão envolvidas ou interessadas na produção,

distribuição e utilização segura dos produtos cloro , soda cáustica , hipoclorito de sódio , ácido clorídrico , cloreto de hidrogênio potassa cáustica. O Instituto tem 240 associados localizados nos Estados Unidos , Canadá , México , América do Sul e outros continentes.Os associados dos Estados Unidos representam 98% da produção de cloro no país. Em função das características do cloro e de sua larga utilização, principalmente em tratamento de água, a promoção e divulgação de boas práticas de segurança e controle ambiental têm sido os focos principais dos membros do Instituto.

O Chlorine Institute tem algumas dezenas de publicações escritas, vídeos, cartazes e outros materiais de orientação destinados a fabricantes, distribuidores, transportadores e usuários de cloro.

O presente Manual de Cloro da Clorosur é uma adaptação da 6ª Edição (1997) do “Chlorine Manual”. Anteriormente a ABICLOR (Associação Brasileira da Indústria de Álcalis e Cloro Derivados) já havia elaborado duas edições do Manual de Cloro também baseadas nas versões do Chlorine Institute.

O Manual é um compêndio das informações disponíveis, baseado na experiência prática de produtores e usuários, com relação a materiais de construção, equipamentos, regulamentações e práticas operacionais, que contribui para a segurança no manuseio, estocagem, transporte e utilização de cloro. As principais propriedades do cloro também estão incluídas. Há também informações sobre a fabricação do produto, e de como se lidar com emergências .

O capítulo sobre referências bibliográficas proverá os leitores com fontes de informações mais detalhadas sobre assuntos específicos, principalmente os panfletos originais do Chlorine Institute. Onde permanecerem dúvidas, o usuário de cloro deve consultar o produtor ou fornecedor do produto, ou mesmo a ABICLOR/Clorosur .

ATUAÇÃO RESPONSÁVEL

O Programa Atuação Responsável® é a versão brasileira do Responsible Care Program®, implantado em diversos países a partir de 1985.

O Programa criado no Canadá, pela Canadian Chemical Producers Association - CCPA, está atualmente implantado em mais de 40 países. O Responsible Care® se propõe a ser um instrumento eficaz para o direcionamento do gerenciamento ambiental, considerado no seu aspecto mais amplo, que inclui a segurança das instalações, processos e produtos, a proteção da integridade física e a preservação da saúde ocupacional dos trabalhadores, além da proteção do meio ambiente

Concebido a partir da visão de diálogo e melhoria contínua, o Programa se estrutura de forma lógica, procurando fornecer mecanismos que permitam o desenvolvimento de sistemas e metodologias adequadas para cada etapa do gerenciamento ambiental que o setor persegue. O modelo criado é flexível, o

que possibilita atender às necessidades de cada empresa, sem que, no entanto, se perca a característica de um Programa de toda uma indústria, quer esteja ela situada no Brasil ou em outra parte qualquer do mundo.

O programa foi adotado oficialmente pela Associação Brasileira da Indústria Química- ABIQUIM - em abril de 1992. As empresas associadas foram convidadas a aderir ao Programa, de forma voluntária. A partir de 1998 a adesão ao Atuação Responsável® tornou-se obrigatória para todos os associados da ABIQUIM, a exemplo do que ocorre na maior parte dos países com indústria química desenvolvida.

A Abiclor e a Clorosur são parceiros da Abiquim em relação a este programa e todos os associados produtores da Abiclor adotaram e implantaram o mesmo.

Ainda neste contexto, a Abiclor e a Clorosur estão comprometidas a encorajar a adoção do Atuação Responsável® (ou programas similares como por exemplo o "Distribuição Responsável" da Associquim), por todos os seus associados favorecendo a sua implementação.

O presente documento é uma contribuição ao esforço de melhoria contínua das operações do setor.

DECLARAÇÃO DE ISENÇÃO DE RESPONSABILIDADE

As informações contidas neste Manual são provenientes de fontes tidas como confiáveis. As recomendações de segurança são baseadas na experiência dos membros do The Chlorine Institute, Inc e da Clorosur. O Chlorine Institute, a Clorosur e seus respectivos associados não se responsabilizam, individual ou coletivamente, pelas informações ou sugestões de segurança aqui contidas.

Além disso, não se deve presumir que todo procedimento de segurança aceitável estaria incluído ou que circunstâncias anormais ou pouco usuais não venham requerer procedimentos modificados ou adicionais.

O usuário deve estar ciente de que tecnologias e regulamentações se modificam e podem requerer mudanças nas recomendações aqui contidas. Cuidados apropriados devem ser tomados para assegurar-se de que a informação está atualizada.

Estas recomendações não devem ser confundidas com regulamentações federais, estaduais, ou municipais, e nem com os códigos de segurança nacional ou requisitos relacionados a seguros.

REPRODUÇÃO

O conteúdo deste Panfleto não poderá ser copiado para publicação, parcial ou totalmente, sem prévia autorização da Clorosur.

1. INFORMAÇÕES GERAIS

1.1 Fabricação de Cloro

O cloro é fabricado através de eletrólise pelos processos de diafragma, mercúrio ou membrana. Em qualquer um dos processos uma solução de sal (cloreto de sódio - NaCl) é eletrolizada pela ação direta da corrente elétrica, a qual converte os íons cloreto em cloro elementar.

No processo diafragma, a salmoura de cloreto de sódio é eletrolizada para produzir cloro no eletrodo positivo (ânodo), enquanto hidróxido de sódio (soda cáustica) e hidrogênio são produzidos no eletrodo negativo (cátodo). Para evitar a reação de hidróxido de sódio e hidrogênio com o cloro, as câmaras do ânodo e do cátodo são separadas por um diafragma poroso.

No processo a mercúrio, o próprio mercúrio que recircula serve como cátodo. O cloro é removido do espaço gasoso acima dos ânodos e o sódio elementar é formado no cátodo. O sódio forma um amálgama com o mercúrio. Esse amálgama de sódio e mercúrio então circula para um decompositor, onde reage com água purificada para produzir hidróxido de sódio e hidrogênio enquanto o mercúrio é recirculado.

No processo a membrana a salmoura de cloreto de sódio é eletrolizada para produzir cloro no eletrodo positivo (ânodo), enquanto hidróxido de sódio e hidrogênio são produzidos no eletrodo negativo (cátodo). Uma membrana seletiva de íons evita a reação do hidróxido de sódio e hidrogênio com o cloro.

O cloro é também produzido de inúmeras outras maneiras, por exemplo pela eletrólise da salmoura de cloreto de potássio em células a membrana ou mercúrio, com a co-produção de hidróxido de potássio; por eletrólise de cloreto de sódio ou de magnésio fundido para produzir sódio ou magnésio metálico; por eletrólise de ácido clorídrico; e por outros processos não eletrolíticos.

1.2 Transporte de Cloro

1.2.1 Geral

O cloro, normalmente, é comercializado como um gás liquefeito comprimido. O transporte de cloro, em todas as suas modalidades, é controlado por regulamentação própria variando de país para país. É de responsabilidade de toda empresa que comercializa ou transporta cloro conhecer e cumprir todos os regulamentos pertinentes.

1.2.2 Brasil e Outros Países

No Brasil, o cloro é classificado como um gás tóxico, da Classe 2, Subclasse 2.3.

Carregamentos internacionais de cloro devem obedecer aos requisitos do país de origem e do país de

destino. Geralmente, regulamentos sobre produtos perigosos são similares em todo o mundo, como resultado de regras padronizadas pela ONU (Organização das Nações Unidas) e implementadas pelas agências intermodais. Existem recomendações similares para os sistemas de transporte viários, ferroviários, marítimos e aéreos. A designação das Nações Unidas para o cloro é 1017.

1.3 Outros Aspectos Regulamentares

Vários sistemas de numeração de produtos químicos são apresentados em certos programas de regulamentação.

Para cloro, tem-se o seguinte:

- O número do Chemical Abstracts Service (CAS) é CAS 7782-50-5.
- O número do Registry of Toxic Effects of Chemical Substances (RTECS) designado nos Estados Unidos pelo Instituto Nacional de Segurança do Trabalho e Saúde é F02100000.

1.4 Propriedades Físicas e Químicas

O cloro é um elemento da família dos halogênios. O cloro, gasoso ou líquido, não é explosivo ou inflamável, mas ele pode suportar a combustão. O cloro, na forma gasosa ou líquida, reage com muitas substâncias. O cloro é pouco solúvel em água.

O cloro gás tem um odor característico e penetrante, uma coloração amarela-esverdeada e é cerca de duas vezes e meia mais pesado que o ar. Assim, se o cloro vaza de um recipiente ou de uma instalação, a tendência é que ele se concentre nos níveis mais baixos do prédio ou da área de ocorrência do vazamento.

O cloro líquido é de cor âmbar (amarelo escuro), e é cerca de uma vez e meia mais pesado que a água. Sob pressão atmosférica, a temperatura de ebulição é de 34° Celsius negativos (-34 ° C) e congela aproximadamente a 101 graus negativos (-101° C).

Um volume de cloro líquido, quando evapora, produz cerca de 460 volumes de gás.

Embora o cloro seco (gás ou líquido) normalmente não reaja ou corroa alguns metais, como cobre ou aço carbono, ele é fortemente reativo (extremamente corrosivo) quando há umidade presente. Ver Seção 8.3.3.2

1.5 Terminologia

1.5.1 Cloro

O termo cloro se aplica ao elemento químico, em qualquer estado ou condição que possa existir, sob as condições sendo consideradas. O símbolo do cloro é *Cl*, seu número atômico é 17 e seu peso atômico é 35,453. O cloro quase sempre se apresenta como uma molécula com

dois átomos de cloro: Cl₂. Seu peso molecular é 70,906.

1.5.2 Cloro líquido

É o cloro, no estado líquido. (O termo “cloro líquido” algumas vezes é usado incorretamente para descrever uma solução de hipoclorito de sódio).

1.5.3 Cloro Gás

É o cloro, no estado gasoso.

1.5.4 Cloro seco

Cloro líquido ou gasoso com seu conteúdo de água dissolvido na solução. A solubilidade da água no cloro varia com a temperatura, e é mostrada nos gráficos 8.5 e 8.6 – Informações detalhadas constam no Panfleto 100 do Chlorine Institute. O termo “cloro seco” algumas vezes é usado incorretamente para descrever um composto clorado seco (geralmente hipoclorito de cálcio ou isocianuratos clorados).

Os exemplos seguintes foram extraídos das Figuras 8.5 e 8.6:

- Cloro com um conteúdo de água de 30 ppm à temperatura de 10°C é seco. Se este mesmo cloro (30 ppm) estivesse a uma temperatura de -20°C, o cloro seria úmido.
- Cloro a 5°C é seco se o conteúdo da água não exceder 100 ppm.

1.5.5 Cloro Úmido

O cloro gasoso ou líquido, com seu conteúdo de água excedendo a quantidade que está dissolvida na solução. Informações detalhadas constam no Panfleto 100 do Chlorine Institute. O cloro não é considerado úmido apenas por estar em estado líquido.

1.5.6 Cloro Gás Saturado

É o cloro gás em tal condição que a remoção de qualquer calor ou um aumento de pressão causaria a condensação de uma parte do cloro para o estado líquido. (Este termo não deve ser confundido com cloro úmido.)

1.5.7 Cloro Líquido Saturado

É o cloro líquido em tal condição que a adição de qualquer calor ou uma diminuição de pressão causariam a vaporização de uma parte do cloro para o estado gasoso. (Este termo não deve ser confundido com cloro úmido.)

1.5.8 Solução de Cloro (Água Clorada)

Solução de cloro em água (para a solubilidade do cloro na água ver Figura 8.3).

1.5.9 Água Sanitária

Trata-se de uma solução de hipoclorito, geralmente hipoclorito de sódio.

1.5.10 Contêiner

Nesta publicação, um contêiner é um vaso de pressão, apropriado para o transporte de cloro. Este termo não se aplica a tubulações e a tanques estacionários

1.5.11 Capacidade de Enchimento

O peso de cloro, que é carregado dentro de um recipiente para transporte ou estocagem, não pode exceder 125% do peso de água (a 15.6°C), que o recipiente comportaria.

1.5.12 Hidróxido de Sódio

Produzido em conjunto com o cloro no processo de eletrólise de solução de cloreto de sódio. Normalmente, o hidróxido de sódio é chamado de soda cáustica.

1.6 Riscos para a Saúde

O cloro gás é principalmente um irritante das vias respiratórias. Em concentrações elevadas irrita as membranas mucosas, o sistema respiratório e os olhos. Em casos extremos, a dificuldade em respirar pode aumentar até o ponto de ocorrer morte por colapso respiratório ou falência pulmonar. O odor característico e penetrante do cloro gás é facilmente percebido pelo olfato humano, gerando um alerta de sua presença no ar.

Em altas concentrações, ele também é visível como um gás amarelo-esverdeado. O cloro líquido em contato com a pele ou olhos poderá causar queimaduras químicas e/ou ulcerações por congelamento. Ver Seção 6.

No Brasil a norma NR – 15 estabelece o LT - MP (Limite de Tolerância - até 48 horas por semana) em 0,8 ppm e o VM (Valor Máximo) seria 2,4 ppm.

1.7 Outros Riscos

1.7.1 Fogo

O cloro não é explosivo nem inflamável; entretanto, ele pode suportar a combustão.

1.7.2 Ação Química

O cloro tem uma forte afinidade química com muitas substâncias. Ele reage com muitos compostos inorgânicos e orgânicos, geralmente com geração de calor. O cloro reage com alguns metais sob uma variedade de condições. Ver Seção 8.3.3.2

1.7.3 Ação Corrosiva no Aço

A temperaturas comuns, o cloro seco, tanto líquido como gasoso, não corrói o aço. Cloro úmido é altamente corrosivo pois forma os ácidos clorídrico e hipocloroso. Devem-se tomar precauções para que as instalações de cloro, e o próprio produto, mantenham-se secos. Tubulações, válvulas e recipientes devem ser fechados ou tampados quando não estiverem em uso, para que fiquem isolados da umidade atmosférica. Se água for usada em um vazamento de cloro, as condições corrosivas resultantes agravarão o vazamento.

1.7.4. Expansão Volumétrica

O volume de cloro líquido aumenta com a temperatura. Devem-se tomar precauções para evitar a ruptura hidrostática de tubulações, tanques, cilindros ou outros equipamentos que contenham cloro líquido. Ver Figura 8.4

1.7.5 Riscos Específicos na Fabricação e no Uso de Cloro

1.7.5.1 Hidrogênio

O hidrogênio é produzido em conjunto com o cloro no processo de eletrólise de solução de cloreto de sódio. Dentro de uma dada faixa de variação de concentração, misturas de cloro e hidrogênio são inflamáveis e potencialmente explosivas. A reação de cloro e hidrogênio pode ser iniciada pela luz direta do sol, outras fontes de luz ultravioleta, eletricidade estática ou por um impacto abrupto.

1.7.5.2 Tricloreto de Nitrogênio

Pequenas quantidades de tricloreto de nitrogênio, um composto instável e altamente explosivo, podem ser produzidas na fabricação do cloro. Quando o cloro líquido contendo tricloreto de nitrogênio evapora, o tricloreto de nitrogênio pode alcançar concentrações residuais perigosas. Ver Panfletos 21 e 152 do Chlorine Institute.

1.7.5.3 Óleos e Graxas

O cloro pode reagir, algumas vezes explosivamente, com uma série de produtos orgânicos tais como óleos e graxas, provenientes de compressores de ar, válvulas, bombas, instrumentação com diafragma a óleo, madeira e trapos usados em trabalhos de manutenção.

1.8 Recipientes / Embalagens para Cloro

1.8.1 Especificações dos Recipientes/Embalagens

Os recipientes destinados à expedição de cloro devem estar de acordo com a especificação regulamentada, pela qual eles foram fabricados. Novos

recipientes devem ser fabricados de acordo com as atuais especificações e com os regulamentos pertinentes. Os recipientes mais antigos podem continuar a ser utilizados de acordo com as regras aplicáveis.

1.8.2 Tipos de Recipientes

- Cilindros Pequenos (40 a 68 kg)

Fabricados pela especificação DOT ou TC (US Department of Transportation) 3A480 ou 3AA480. Ver Seção 2. Os cilindros em conformidade com especificações mais antigas ainda podem ser usados. Cilindros especiais de acordo com a especificação DOT (ou TC) 3BN480 ou 3E1800 são adequados para o uso especializado em laboratórios.

- Cilindros Grandes

Fabricados pela especificação DOT (ou TC) 106A500X. Ver Seção 2. Cilindros grandes em conformidade com antigas especificações ainda podem ser usados.

- Vagões Tanque (Transporte Ferroviário)

Os vagões tanque ferroviários devem ser fabricados pela especificação 105J500W ou 105S500W do DOT (ou TC). Ver Seção 3.3

- Caminhões Tanque

Devem cumprir a especificação MC 331. do DOT. Ver Seção 3.2

- Barcaças

Não têm sido usadas no Brasil. Informações detalhadas podem ser obtidas no Panfleto 79 do Chlorine Institute.

1.8.3 Similaridades dos Recipientes / Embalagens

Os recipientes / embalagens são similares nos seguintes aspectos:

- São construídos em aço.
- São inspecionados e testados hidrostaticamente a intervalos regulares de acordo com regulamentação pertinente.
- São equipados com um ou mais dispositivos de alívio da pressão.
- São identificados e rotulados de acordo com a regulamentação pertinente.
- São construídos de acordo com especificações internacionalmente reconhecidas.

2. CILINDROS PEQUENOS E GRANDES

2.1 Descrição dos Cilindros

2.1.1 Geral

Os cilindros grandes e pequenos têm muitas similaridades na maneira como são manuseados; muitos usuários de cilindros pequenos também usam cilindros grandes. Portanto, eles estão sendo abordados em conjunto neste item. O equipamento de emergência para manusear cilindros grandes é diferente do usado para cilindros pequenos.

2.1.2 Cilindros Pequenos

Os cilindros pequenos de cloro são de construção sem costura, normalmente com capacidades entre 40 e 68 kg, predominando os de 40, 50 e 68 kg. As dimensões e pesos aproximados de cilindros pequenos constam na Tabela 2.1 deste manual. Estes cilindros são do tipo com anel de reforço no pé, do tipo de fundo protegido ou do tipo fundo duplo (Figura 2.1) e não é permitido que sejam fabricados com mais do que uma abertura. A conexão da válvula se localiza no topo do cilindro. O capacete de aço, que cobre a válvula, deve ser utilizado para proteger a válvula durante o transporte, a movimentação e o armazenamento.

O número de especificação DOT ou TC, o número de série, o símbolo de identificação, o peso vazio original, a marca oficial do inspetor e a data do teste hidrostático devem estar estampados no corpo do cilindro junto ao "pescoço" do mesmo. Geralmente, o nome do proprietário, ou seu símbolo, está gravado no cilindro, nesta mesma área. É ilegal desfigurar estas marcas. O peso vazio significa o peso do cilindro vazio com a válvula, mas não inclui o capacete protetor da válvula.

2.1.3 Cilindros Grandes

Os cilindros grandes são tanques soldados que têm a capacidade aproximada de 900 kg de cloro, e um peso carregado que pode chegar a aproximadamente 1655 kg (Figura 2.2). Dimensões e pesos aproximados são mostrados na Tabela 2.1.

Os tampos (extremidades) são côncavos e soldados ao corpo do cilindro. Estes tampos são providos de bordas que permitem um bom encaixe para os ganchos usados para levantamento dos cilindros. As válvulas

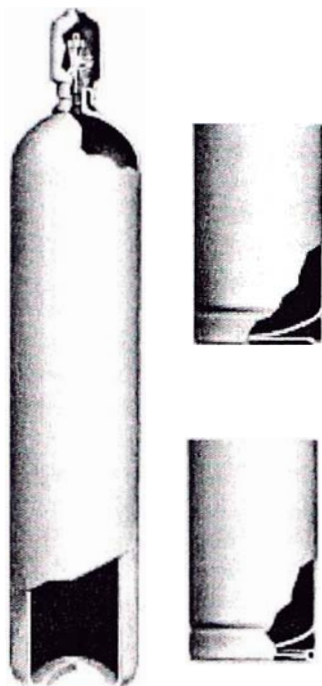


Figura 2.1 Cilindro Pequeno

do cilindro grande são protegidas por um capacete de aço removível.

O número de especificação do DOT ou do TC, o material de construção, o símbolo de identificação do proprietário ou do construtor, o número de série, a marca do inspetor, a data do teste, e a capacidade do cilindro devem todos estar gravados em uma placa fixada na extremidade oposta às válvulas. É ilegal desfigurar estas marcas. Em complemento às marcações requeridas acima, o peso vazio original também deve estar gravado na placa. O peso vazio significa o peso do recipiente vazio, com válvulas e bujões fusíveis, mas não inclui o capacete de proteção das válvulas. Geralmente, o nome ou símbolo do proprietário está gravado na placa de identificação.

2.2 Válvulas dos Cilindros

2.2.1 Cilindros Pequenos

Uma válvula padrão de cilindro pequeno é mostrada na Figura 2.3. Para informações mais detalhadas, consultar Panfleto 17 do Chlorine Institute. As roscas na saída da válvula não são roscas padrão de tubulações, mas são roscas retas especiais (designadas como 1,030 polegadas - 14NGO-RH-EXT). Ver Seção 2.8.5 para detalhes sobre as conexões recomendadas.

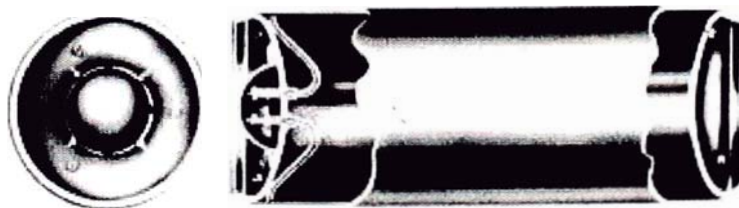


Figura 2.2 Cilindro Grande

As válvulas dos cilindros pequenos são equipadas com um dispositivo de alívio de pressão de metal fusível ou, como é mais geralmente conhecido, um bujão fusível. Ver Seção 2.3.1

2.2.2 Cilindros Grandes

Cada cilindro grande é equipado com duas válvulas

idênticas instaladas próximas ao centro de uma das extremidades. Estas válvulas são padrão para cilindros grandes (Figura 2.4). Elas são diferentes das válvulas de cilindro pequeno porque não têm bujões fusíveis e geralmente têm uma passagem interna mais larga. Para informações mais detalhadas, consultar Panfleto 17 do Chlorine Institute. Cada válvula conecta-se a um tubo pescante interno (Figura 2.2).

2.3 Dispositivos de Alívio de Pressão

2.3.1 Cilindros Pequenos

As válvulas dos cilindros pequenos são equipadas com um dispositivo de metal fusível conhecido por bujão fusível. A maioria das válvulas tem o bujão rosqueado no próprio corpo da válvula. O metal fusível fica dentro do bujão, em um orifício vazado, que penetra no corpo da válvula, sob o assento da mesma. (Algumas têm o metal fusível fundido diretamente dentro de um orifício rosqueado no corpo da válvula). O metal fusível é projetado para fundir na faixa de temperatura entre 70° e 74° C visando aliviar a pressão interna do cilindro, e assim, evitar a ruptura do mesmo se exposto ao fogo ou altas temperaturas. O dispositivo de alívio de pressão é ativado apenas nos casos de altas temperaturas.

2.3.2 Cilindros Grandes

Todos os cilindros grandes são equipados com dispositivos de alívio de pressão em metal fusível, conhecidos por bujões fusíveis (Figura 2.5). São seis bujões de metal fusível, três em cada extremidade, posicionados a 120 graus um do outro. Do mesmo modo que os cilindros pequenos, o metal fusível é projetado para fundir na faixa de temperatura entre 70° e 74° C visando aliviar a pressão interna do cilindro, e assim, evitar a ruptura do mesmo se exposto ao fogo ou altas temperaturas. O dispositivo de alívio de pressão é ativado apenas nos casos de altas temperaturas.

2.4 Expedição dos Cilindros

2.4.1 Cilindros Pequenos

Os cilindros pequenos podem ser transportados por rodovias, ferrovias ou por vias marítimas ou fluviais. No Brasil predomina o transporte rodoviário. A expedição rodoviária pode se dar em lotes de carga total ou parcial do caminhão. É necessário que haja sistemas de fixação adequados, para evitar que os cilindros se desloquem durante o transporte. Para informações detalhadas recomenda-se consultar o fornecedor de cloro.

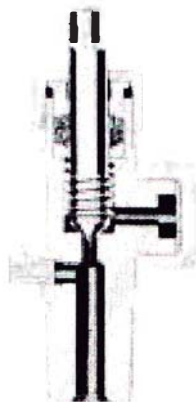


Figura 2.3 Válvula Padrão de Cilindro Pequeno

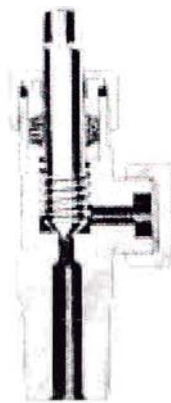


Figura 2.4 Válvula Padrão de Cilindro Grande

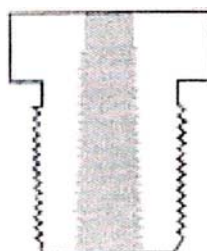


Figura 2.5 Bujão Fusível de Cilindro Grande

2.4.2 Cilindros Grandes

A maioria dos cilindros grandes é expedida por rodovia. Tais caminhões devem ter dispositivos adequados de fixação para evitar que os cilindros se desloquem durante o transporte. Os caminhões são algumas vezes equipados com sistema de guincho para facilitar o carregamento e o descarregamento.

2.5 Rotulagem e Emplacamento de Cilindros

Durante o transporte, os cilindros devem estar adequadamente rotulados e o veículo provido de placas de sinalização, conforme requerido pela legislação vigente.

2.6 Manuseio de Cilindros

2.6.1 Geral

Os cilindros de cloro devem ser manuseados com cuidado. Durante a movimentação e a armazenagem, os capacetes protetores das válvulas devem ser utilizados. Os cilindros não devem sofrer quedas ou choques mecânicos. É conveniente carregar e descarregar os cilindros em/de um caminhão para um local com piso no mesmo nível da carroceria. Se tal local não existir, pode ser usado um guincho hidráulico na traseira do veículo. Os cilindros devem estar bem fixados para se evitar que rolem.

2.6.2 Cilindros Pequenos

Os cilindros podem ser deslocados, usando-se um carrinho de mão que deve ter um uma corrente, a dois terços da altura do cilindro, para segurá-lo no lugar. Se os cilindros precisarem ser içados, um berço ou suporte, especialmente desenhados, podem ser utilizados. Não se deve içá-los por alças no estilo "tipóia"

Tabela 2.1 Dimensões e Pesos de Cilindros

Capacidade		Tara		Diâmetro Exterior		Altura ou Comprimento	
lb	kg	lb	kg	Polegadas	mm	Polegadas	mm
100	45	63-115	29-52	8.25-10.75	210-273	39.5-59	1003-1499
150	68	85-140	39-64	10.25-10.75	260-273	53.0-56	1346-1422
2000	907	1300-1650	590-748	30	762	79.75-82.5	2026-2096

ou usar dispositivos magnéticos. Os cilindros não devem ser elevados pelos capacetes de proteção das válvulas pois a rosca, onde eles estão fixados, não foram projetadas para suportar o peso do cilindro.

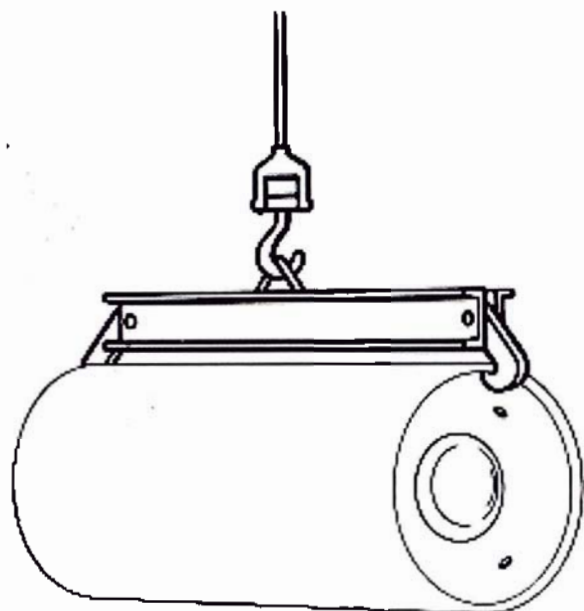


Fig. 2.6 Exemplo de Barra Elevatória para Movimentação de Cilindros Grandes

2.6.3. Cilindros Grandes

Os cilindros grandes são geralmente movimentados usando-se uma talha provida de cabos de aço independentes ou barras elevatórias (Figura 2.6). Eles podem ser rolados em trilhos ou em esteiras rolantes projetadas para este propósito.

Se uma empilhadeira for utilizada, o cilindro deve ser preso adequadamente para evitar-se que ele caia, especialmente quando a empilhadeira mudar de direção. A empilhadeira deve ter capacidade de carga adequada.

2.7 Armazenamento de Cilindros

Os cilindros podem ser armazenados em áreas fechadas ou abertas. Se forem armazenados em áreas fechadas, deve-se seguir as recomendações que constam nos itens 7.1 e 7.2. deste manual. Se forem estocados em ambiente externo, a área de armazenamento deve ser limpa, de modo que lixo acumulado ou outros materiais inflamáveis não apresentem risco de incêndio. Os cilindros não devem ser estocados perto de elevadores ou sistemas de ventilação pois, em caso de vazamento, o cloro pode se alastrar rapidamente.

Todos os cilindros devem ser estocados de forma a minimizar a corrosão externa. Recomenda-se a estocagem em áreas cobertas. Se houver possibilidade de formação de poças de água por baixo dos cilindros, plataformas ou suportes adequados devem ser providenciados.

Deve-se estabelecer rotinas de inspeção para todos os cilindros. Eles não devem ser estocados onde objetos pesados possam cair sobre eles ou onde veículos possam atingi-los.

Como o cloro é mais pesado que o ar, áreas subterrâneas de armazenagem devem ser evitadas. O acesso de pessoal não-autorizado, à área de armazenamento, deve ser controlado.

Os cilindros não devem ser expostos à chama, irradiações de calor ou linhas de vapor. Se o calor nas proximidades dos bujões fusíveis alcançar aproximadamente 70°C, o metal fusível derreterá e cloro será liberado.

Os cilindros cheios e os vazios devem ser armazenados separadamente. Mesmo que um cilindro esteja vazio, a tampa da válvula e o capacete de proteção devem estar instalados.

Os cilindros pequenos devem ser armazenados em posição vertical. Eles devem estar adequadamente presos para evitar-se que tombem.

Os cilindros grandes devem ser armazenados deitados, acima do chão, em trilhos ou suportes que permitam a rolagem manual do mesmo (ex.: berços com roletes)

Os cilindros de cloro devem estar separados de materiais inflamáveis e oxidantes, e de produtos como

amônia, hidrocarbonetos e outros materiais que reagem com o cloro. É importante que haja um acesso fácil, aos cilindros, na eventualidade de um vazamento.

2.8 Uso dos Cilindros

2.8.1 Geral

Antes de conectar ou desconectar um cilindro, o operador deve assegurar-se de que todo o equipamento de segurança e emergência esteja disponível e operacional. Cilindros e válvulas não devem ser modificados, alterados ou reparados por pessoal não qualificado.

2.8.2 Descarga de Gás

Os cilindros pequenos são usados na posição vertical e fornecem cloro na forma gasosa. Os cilindros grandes utilizados em posição horizontal, com as válvulas alinhadas na vertical (Figura 2.2) fornecem gás pela válvula superior e líquido pela válvula inferior.

A vazão de cloro gás de um cilindro depende da pressão interna que, por sua vez, depende da temperatura do cloro líquido. Para retirar-se gás, o cloro líquido deve vaporizar-se. A não ser que haja calor externo suficiente, a temperatura do cloro será reduzida à medida em que o líquido evapora, conseqüentemente, a pressão no cilindro diminuirá. Para um baixo consumo de cloro, o ar do ambiente pode prover calor suficiente para que a pressão no cilindro permaneça adequada para manter uma vazão constante. Para um alto consumo, a temperatura e a pressão dentro do cilindro poderão cair por causa do efeito de resfriamento resultante da vaporização. À medida em que isto acontece, o taxa de vazão irá diminuir gradativamente, e poderá até parar, dando uma falsa impressão de o cilindro estar vazio.

Em locais onde a umidade do ar é elevada, a condensação desta umidade se formará na parte externa do cilindro. Em ritmos excessivos de retirada, o cloro líquido será resfriado a tal ponto que poderá haver formação de gelo na parte externa do cilindro. O efeito isolante do gelo causará ainda uma queda adicional da vazão de descarga. A vazão de descarga irá diminuir à medida em que o cilindro se esvazie, porque haverá, progressivamente, menos área da parede interna do cilindro em contato com o restante do cloro líquido. As vazões de descarga podem ser aumentadas fazendo-se circular o ar ambiente, em torno do cilindro, com um ventilador.

Nota: Nunca aqueça um cilindro em um banho de água, nem aplique vapor diretamente ou use cintas de aquecimento.

As vazões de descarga de cloro gás variam de maneira significativa conforme a temperatura ambiente, a

umidade e a circulação do ar, assim como as variações que ocorrem no sistema de tubulações e em outros equipamentos conectados ao cilindro. A vazão contínua máxima de cloro gás que se pode retirar de um cilindro pequeno é de cerca de 1 a 1,5 lb/dia/° F. Este valor é válido para temperatura ambiente de pelo menos 15°C com circulação de ar natural. Na prática, a 20° C, a vazão estaria entre 1,3 kg/h e 1,9 kg/h. A vazão contínua máxima de cloro gás, para um cilindro grande nas mesmas condições, seria de 6-8 lb/dia/° F. Ou seja, a 20° C, a vazão estaria entre 7,7 kg/h e 10,2 kg/h.

Se a vazão de descarga de gás de um único cilindro não atender às necessidades, dois ou mais cilindros podem ser utilizados conjuntamente em um "manifold". Outra alternativa seria usar o cloro na forma líquida, passando-o por um evaporador. Ver Item 2.8.3

Quando se descarrega cloro gás por meio de um "manifold", todos os cilindros devem estar à mesma temperatura para evitar a transferência de gás de um cilindro mais quente, para um cilindro mais frio.

2.8.3 Descarga de Líquido

Para usos especiais, os cilindros pequenos podem ser invertidos para fornecer cloro líquido. Em tais casos, devem-se usar dispositivos de fixação apropriados.

O cloro líquido é obtido pela válvula inferior do reservatório, quando alinhadas na posição vertical ao solo. Neste caso pode-se obter altas vazões de descarga. A vazão depende da temperatura do cloro no cilindro e da contrapressão nas tubulações. A vazão contínua de descarga de cloro líquido de um cilindro grande, sob condições normais de temperatura e contrapressão de 2,5 kgf/cm² (241 kPag), é de pelo menos 181 kg/h.

Quando se usar mais de um cilindro grande em um "manifold", a pressão deve ser equalizada, para impedir que cloro líquido seja transferido de um cilindro com mais pressão para outro com menos pressão. O Desenho 183 do Chlorine Institute mostra um sistema para equalizar a pressão, através das válvulas de gás. Estas válvulas são conectadas em um mesmo "manifold". O fato de os cilindros estarem em uma mesma área não garante que eles estejam com a mesma pressão. Deve-se estabelecer procedimentos para evacuar o cloro líquido contido nas tubulações para que o produto não fique preso no sistema.

2.8.4 Pesagem

Como o cloro é comercializado como um gás líquidofeito comprimido, a pressão em um cilindro depende da temperatura do cloro (Figura 8.1). A pressão não está relacionada com a quantidade de cloro presente no recipiente. O conteúdo do cilindro só pode ser determinado com precisão, através de pesagem.

2.8.5 Conexões

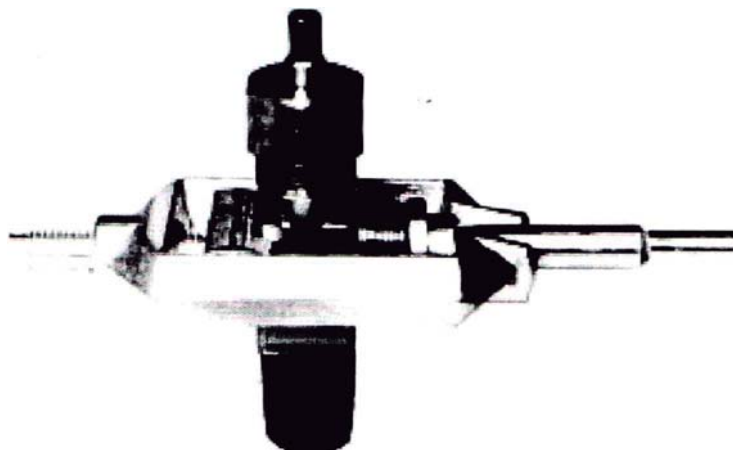


Fig. 2.7 Conexão tipo "Sargento ou Yoke" e Adaptador

Uma conexão flexível deve ser usada para fazer a ligação entre o cilindro e a tubulação. Recomenda-se o uso de flexíveis de cobre recozido com diâmetros de 1/4 de polegada ou 3/8 de polegada. Mangueiras metálicas flexíveis ou mangueiras de plásticos fluorados, conforme descritos no Panfleto 6 do Chlorine Institute também são aceitáveis.

Se um sistema precisar permanecer em operação enquanto os cilindros estiverem sendo conectados ou desconectados, válvulas auxiliares semelhantes às do cilindro podem ser usadas na linha para isolar o sistema. Estas válvulas devem ser instaladas na extremidade do flexível que é conectada ao cilindro para minimizar o escape de gás e a penetração da umidade atmosférica. As conexões flexíveis devem ser inspecionadas regularmente. Elas devem ser substituídas sempre que houver qualquer sinal de desgaste.

Para conectar o flexível na tubulação, este mesmo tipo de válvula também pode ser usado.

A Conexão CGA 820, composta de "sargento" ou "yoke" e adaptador, é a conexão recomendada pelo Chlorine Institute para a saída da válvula do cilindro (Figura 2.7). Faz parte da conexão uma junta (gaxeta) plana, normalmente feita de chumbo, com 2 a 3 % de antimônio que é usada entre o adaptador e a face da válvula. A junta deve ser trocada a cada nova conexão.

2.8.6 Abertura de Válvulas

A válvula de cilindro é aberta girando-se a haste da válvula no sentido anti-horário. Com uma volta completa da haste, a válvula está totalmente aberta. Não há necessidade de se dar outras voltas na haste. São recomendadas chaves quadradas específicas de 3/8 " e

comprimento não superior a 20 cm (8 ").

Nunca use barras extensoras na chave. A válvula pode ser aberta batendo-se na extremidade da chave com a palma da mão. Se isto não funcionar, o fornecedor de cloro deve ser contatado para prestar assistência. Após abertura da válvula, a chave deve ficar posicionada na válvula, para que ela possa ser fechada rapidamente, se necessário.

Uma vez realizadas as conexões, abra um pouco a válvula do cilindro e pressurize o sistema com uma pequena quantidade de cloro, fechando a válvula em seguida. Teste o sistema quanto a vazamentos usando vapor de uma solução de *hidróxido de amônio* a 26° Baumé. Ver Item 4.4.2. Se houver vazamento, ele deve ser sanado antes de continuar a descarga. Se depois do teste não houver vazamentos, abra a válvula e inicie o consumo.

2.8.7 Desconexão de Cilindros

A válvula deve ser fechada assim que o cilindro estiver vazio. Antes de desconectar, é importante remover o cloro que permanece na conexão flexível. Isto pode ser feito de duas formas: purgando a linha com ar seco ou com nitrogênio (ponto de orvalho de 40 °C negativos ou mais baixo); ou aplicando-se vácuo. Se houver cloro residual nas linhas, o cilindro deve ser desconectado com cautela.

Após a desconexão, a tampa da válvula deve ser colocada, assim como o capacete de proteção das válvulas. A extremidade aberta do flexível desconectado deve ser fechada imediatamente para evitar a entrada da umidade do ar, no sistema.

3. TRANSPORTE A GRANEL

3.1 Geral

Cloro a granel pode ser transportado em caminhões tanque, vagões ferroviários, ou em barcas providas de tanques. No Brasil, utilizam-se principalmente caminhões tanque com capacidade entre 16 e 21 toneladas. O cloro também pode ser comercializado a granel através de tubulações ("pipelines").

3.2 Caminhões Tanque

3.2.1 Geral

As informações seguintes são informações gerais sobre caminhões tanque de cloro. Para informações mais detalhadas, consultar Panfleto 49 do Chlorine Institute. No Brasil, eles geralmente têm capacidade entre 16 e 21 toneladas (Figura 3.1). As especificações do DOT aplicam-se unicamente ao tanque; obedecendo a especificação MC331 incluindo-se as exigências especiais para o cloro.



Figura 3.1 Caminhão Tanque de Cloro

Os caminhões tanque devem ser equipados com um dispositivo para alívio da pressão. Eles são equipados com quatro(4) válvulas angulares manuais. Duas destas válvulas são conectadas a tubos pescantes e são destinadas à descarga de cloro líquido. Todas as quatro válvulas angulares são equipadas com válvulas de excesso de vazão.

Os caminhões tanque possuem isolamento térmico. Esse isolamento impede o aumento da pressão interna, em climas quentes, e ajuda a manter a pressão necessária para descarregar o produto, em climas frios.

O padrão atual é de duas polegadas de fibra de vidro colocadas sobre duas polegadas de fibra cerâmica. Caminhões mais antigos são equipados com quatro polegadas de espuma de poliuretano.

3.2.3 Arranjo da Boca de Visita

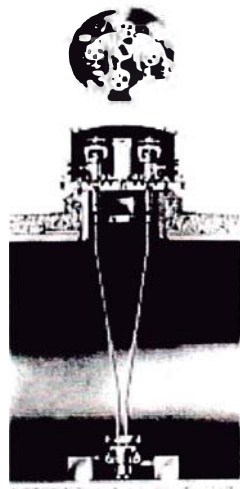


Figura 3.2 Boca de Visita e Arranjo das Válvulas

3.2.3.1 Geral

Existem cinco válvulas montadas sobre a boca de visita, dentro do domo de proteção (Figura 3.2). Quatro destas válvulas são angulares e a quinta, localizada no centro, é um dispositivo de alívio de pressão - válvula de segurança - projetado para auxiliar em casos de pressão excessiva no interior do tanque.

Na parte interna do tanque, conectadas a cada uma das válvulas angulares, existem quatro válvulas de excesso de vazão.

3.2.3.2 Válvulas Angulares

A válvula angular, operada manualmente, segue padrões definidos pelo Chlorine Institute, Panfleto 166 (Figura 3.3). Construída em corpo de aço forjado, com haste e sede de Monel[®]. O dispositivo de saída é uma rosca fêmea cônica de uma polegada, padrão ANSI, provida de um plugue.

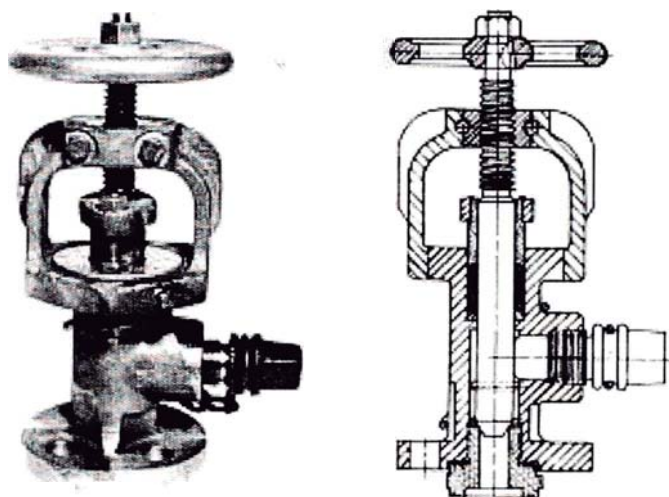


Figura 3.3 Válvula Angular Padrão

As duas válvulas angulares posicionadas no sentido longitudinal do caminhão tanque são destinadas à descarga de cloro líquido e são conectadas a tubos pescantes. As outras duas válvulas angulares, localizadas no sentido transversal, estão em contato com o espaço de cloro gás do tanque.

3.2.3.3 Válvulas de Excesso de Vazão

Sob cada válvula angular de cloro líquido há uma válvula de excesso de vazão com uma capacidade operacional máxima, de 3.200 Kg/hora (Figura 3.4). Há tubos pescantes conectados às duas válvulas de excesso de vazão de cloro líquido.

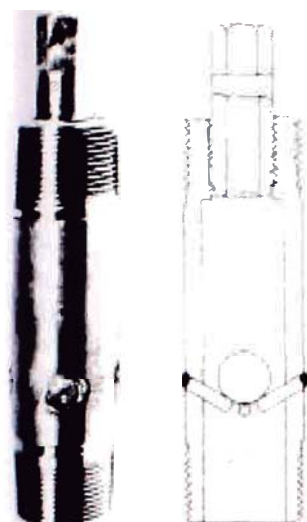


Figura 3.4 Válvula de Excesso de Vazão

A válvula de excesso de vazão consiste de uma esfera ascendente que fecha quando o taxa de vazão excede um valor pré-determinado. Ela não atua em resposta à pressão interna do tanque. Ela é projetada para interromper automaticamente o fluxo do cloro líquido se a válvula angular for quebrada em trânsito. Ela também pode atuar, se um grande vazamento ocorrer em função do rompimento da conexão de descarga. Entretanto ela não foi projetada para

atuar como um dispositivo emergencial de fechamento, durante as operações de transferência.

Sob cada válvula angular de cloro gás, também há uma válvula de excesso de vazão, cujo projeto é diferente. Estas válvulas têm uma cesta removível de forma que a esfera possa ser retirada e o interior do tanque, inspecionado.

3.2.3.4 Tubos Pescantes

O cloro líquido é retirado através de tubos pescantes de 1/4 de polegada (Figura 3.2). Os tubos pescantes são conectados às válvulas de excesso de vazão. Pode-se utilizar um ou os dois tubos para descarregar o cloro líquido.

3.2.3.5 Válvula de Segurança (Dispositivo de Alívio de Pressão)

No centro da boca de visita há um dispositivo de

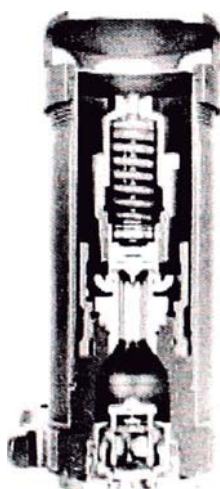


Figura 3.5 Válvula de Segurança Padrão

alívio de pressão, conhecido também por válvula de segurança (Figura 3.5). O dispositivo é do tipo mola carregada e está armado para disparar e iniciar uma descarga à pressão de 15,8 kgf/cm² (225 psig ou 1551 kPag).

3.2.4 Operações de Transferência

3.2.4.1 Precauções

- Durante operações de carga e descarga, o motor do caminhão deve ser desligado, freios de mão devem estar acionados e as rodas devem estar calçadas.
- Os caminhões tanque devem ser monitorados durante a transferência.
- O caminhão tanque não deve ser movimentado enquanto as conexões de carga e descarga estiverem conectadas ao veículo.
- Em todo local onde haja manuseio de cloro deve haver um Plano de Emergência, por escrito, com atenção especial aos procedimentos de emergência e aos equipamentos a serem usados em uma eventual emergência.
- Todo o pessoal responsável pelas operações de transferência deve estar ciente do plano de emergência para poder lidar com eventuais vazamentos de cloro.
- As operações de transferência de cloro devem ser realizadas somente por pessoal treinado.
- Nas operações de transferência de cloro recomenda-se a instalação de sistemas de fechamento de emergência visando reduzir a possibilidade de grandes vazamentos. Ver Panfleto 57 do Chlorine Institute.
- Recomenda-se que caminhões tanque de cloro sejam carregados sobre balanças.
- As áreas de carga e descarga devem ser adequadamente iluminadas durante as operações de transferência.
- A área de operações de carga e descarga devem ser sinalizadas.
- Antes que as válvulas sejam abertas, as conexões de carga e descarga devem ser testadas quanto a vazamentos. Ver Seção 4.4.2
- As áreas de transferência devem ser verificadas para assegurar-se de que todos os equipamentos de segurança (por exemplo, dispositivo de respiração autônoma, kits de emergência, chuveiro de emergência e lava-olhos) estejam em condições de uso.
- Uma plataforma de acesso adequada deve ser providenciada, de forma a permitir acesso, em nível, à boca de visita. A plataforma permite facilidade na conexão das linhas, na operação das válvulas e para uma evacuação rápida, se houver necessidade.

3.2.4.2 Conexões

As operações de carga e descarga devem ser realizadas através de uma conexão flexível adequada, para permitir a movimentação do caminhão tanque sobre

sua suspensão. As especificações recomendadas para as conexões flexíveis de transferência de cloro, e outras informações detalhadas, constam no Panfleto 6 do Chlorine Institute.

Os bocais usados para conexão do flexível à válvula angular do caminhão tanque devem ter roscas limpas e em bom estado. Um lubrificante não-reagente com cloro deve ser usado para evitar o desgaste das roscas. Ele deve ser aplicado de modo a evitar sua introdução no interior da tubulação. Após as conexões estarem devidamente apertadas, o sistema deve ser pressurizado com uma pequena quantidade de cloro através de uma leve abertura da válvula angular de líquido, por um ou dois segundos. A seguir, as conexões devem ser testadas quanto a vazamentos. Ver Seção 4.4.2

Durante o descarregamento, se a válvula angular de cloro líquido for aberta muito rapidamente, ou caso se opere a uma vazão muito alta, a válvula de excesso de vazão será acionada e o descarregamento será interrompido. Se esta situação ocorrer, a válvula angular deverá ser fechada até que a esfera de metal, da válvula de excesso de vazão, caia de volta ao seu lugar de origem. Um clique será ouvido quando a esfera cair.

Se esta ação não tiver sucesso, pode-se usar um martelo para dar algumas pancadas na base da boca de visita.

Observação: A válvula nunca deve ser golpeada diretamente.

Se mesmo assim, a esfera da válvula de excesso de vazão não retornar, pode-se aplicar nitrogênio, à partir de um cilindro, ou ar seco para empurrar a esfera. A pressão de projeto da tubulação não deve ser excedida. As válvulas angulares não devem ser usadas para controlar a vazão do cloro e, quando em uso, devem ser mantidas completamente abertas.

3.2.4.3 Pressurização

O cloro líquido, geralmente, é descarregado através da própria pressão interna do caminhão tanque. A pressão de vapor do cloro pode ser aumentada através de uma pressurização com ar seco ou gás não-reagente com cloro, como por exemplo, o nitrogênio. É essencial que o ar utilizado para a pressurização esteja isento de óleo e outros materiais estranhos, e que seja secado ao ponto de orvalho de 40° C negativos (-40° C), ou abaixo.

O ar para para pressurização deve ser fornecido por um compressor exclusivo para esta finalidade. Para minimizar o risco potencial de uma reação de cloro com óleo, deve-se utilizar um compressor não-lubrificado ou um compressor lubrificado com um óleo sintético, não-reagente com cloro. Caso seja usado um compressor lubrificado, é necessária a instalação de filtros, após os secadores, para assegurar ar seco livre de óleo.

O sistema de pressurização de ar deve ser projetado de modo a evitar retorno de cloro proveniente do caminhão tanque. A falta deste tipo de dispositivo de proteção, em um compressor lubrificado com óleo, pode

resultar em uma reação violenta do cloro com o óleo. Apenas uma válvula de retenção não é suficiente para impedir o retorno de cloro. Ver Panfleto 6 do Chlorine Institute.

3.2.4.4 Monitoramento

Durante o período em que o caminhão tanque permanecer conectado, recomenda-se que a operação de carga ou descarga, seja monitorada quanto a vazamentos.

3.2.4.5 Desconexão

Geralmente, uma queda de pressão acentuada indica que o caminhão tanque está vazio. É recomendável que se descarregue o máximo possível, de cloro residual, para o processo. As linhas de cloro devem ser purgadas com ar seco, ou gás não-reagente, para um sistema de neutralização ou absorvidas por um sistema de vácuo, antes da desconexão.

Após as linhas de transferência terem sido desconectadas, os plugues de saída das válvulas devem ser recolocados e apertados imediatamente. Esta medida é essencial para evitar a corrosão das roscas pela ação da umidade atmosférica. A tampa do domo de proteção pode ser fechada após verificação de vazamentos nas válvulas do caminhão tanque. As extremidades livres das linhas de transferência de cloro também devem ser protegidas da umidade atmosférica utilizando-se flanges cegos, ou outro tipo de proteção.

3.2.4.6 Equipamentos de Emergência

No veículo de transporte deve haver um equipamento de proteção respiratória aprovado e também o kit de emergência tipo "C". Este kit é um conjunto de peças e ferramentas destinados a sanar vazamentos nas válvulas do caminhão tanque.

Recomenda-se também que o veículo de transporte tenha equipamento de comunicação: rádio transmissor ou telefone celular.

3.3 Vagões Tanque

Praticamente não são usados no Brasil. Informações mais detalhadas podem ser obtidas no Panfleto 66 do Chlorine Institute.

3.4 Tanques Portáteis

Tanques adequados para transporte múltiplo de cloro (rodovia, ferrovia e água) devem ser construídos sob as determinações do DOT 51 e determinações especiais para cloro. Informações mais detalhadas podem ser obtidas no Panfleto 49 do Chlorine Institute.

3.5 Barcaças

Não são usadas no Brasil. Informações mais detalhadas podem ser obtidas no Panfleto 79 do Chlorine Institute.

4. MEDIDAS DE EMERGÊNCIA

4.1 Geral

Uma emergência com cloro pode ocorrer durante a fabricação, o uso ou o transporte do produto. As empresas que manuseiam cloro devem ter um plano de emergência por escrito, e funcionários treinados para o atendimento emergencial. Sobre plano de emergência, recomenda-se consultar o Panfleto 64 do Chlorine Institute. Legislações e regulamentos federais, estaduais e municipais devem ser seguidos. Todas as pessoas que manuseiam cloro (ou que sejam responsáveis por quem manuseia) devem estar familiarizadas com o conteúdo dessas diversas regulamentações.

Este item visa fornecer informações úteis para atendimento de emergências com cloro.

4.2 Atendimento a Vazamentos de Cloro

Se houver qualquer indicação de vazamento de cloro, devem-se tomar ações imediatas para resolver o problema.

Os vazamentos de cloro tendem a piorar se não forem combatidos imediatamente. Quando um vazamento de cloro ocorrer, o pessoal autorizado, treinado e equipado com os devidos sistemas de proteção respiratória e demais Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) deve investigar a ocorrência e tomar as medidas apropriadas. O pessoal de atendimento não deve entrar em ambientes que contenham concentrações de cloro acima de 10 ppm, sem os devidos equipamentos de proteção pessoal e com grupo de apoio na retaguarda.

O Panfleto 65 do Chlorine Institute contém informações sobre Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) para atendimento de vazamentos de cloro. O pessoal não envolvido no atendimento deve ser mantido afastado e a área de risco deve ser isolada. As pessoas afetadas pelo vazamento de cloro, se possível, devem ser retiradas do local.

Recomenda-se a instalação de detectores de cloro e indicadores de direção de vento. Estes dispositivos são importantes no sentido de fornecer informações imediatas que ajudariam a determinar se os funcionários devem ser evacuados ou abrigados no local, e também sobre rotas de fuga adequadas.

Em caso de evacuação, as pessoas potencialmente expostas devem se mover no sentido contrário ao do vento para um ponto anterior à posição do vazamento. Locais mais elevados são preferíveis uma vez que o cloro é mais pesado que o ar. Para evacuar a área em um período mais curto de tempo, as pessoas devem mover-se no sentido transversal ao do vento.

Quando as pessoas estiverem abrigadas dentro de um prédio, deve-se fechar todas as janelas, portas e

outras aberturas, e desligar o ar condicionado e sistemas de entrada de ar. Os funcionários devem ser removidos para o lado do prédio que esteja mais distante do vazamento.

Devem-se tomar cuidados para que os funcionários não sejam posicionados em locais que não permitam acesso a uma rota de fuga. Uma posição segura pode se tornar perigosa em função de uma mudança na direção do vento. Novos vazamentos podem ocorrer ou o vazamento existente pode ficar maior.

Caso seja necessário notificar-se as autoridades, as seguintes informações devem ser fornecidas:

- Nome, endereço, número de telefone da empresa e o(s) nome(s) da(s) pessoa(s) a ser(em) contatada(s) para a obtenção de outras informações.
- Descrição da emergência, informando o produto envolvido.
- Indicações de como chegar ao local
- Tipo e tamanho do recipiente envolvido
- Medidas de controle sendo aplicadas
- Outras informações pertinentes, como condições do tempo, vítimas etc.

4.3 Incêndios

Em caso de incêndio ou na iminência do mesmo, os equipamentos e recipientes de cloro devem ser, se possível, removidos para longe do fogo. Se equipamentos ou recipientes de cloro não puderem ser removidos, eles devem ser mantidos resfriados, aplicando-se água sobre os mesmos, desde que não apresentem vazamentos.

Não se deve aplicar água diretamente sobre um vazamento de cloro. Cloro e água reagem formando ácidos, e o vazamento rapidamente se agravará.

Entretanto, em um local onde houver vários recipientes e alguns apresentarem vazamento, é recomendável usar um *spray* de água para evitar a pressurização excessiva dos recipientes sem vazamento. Sempre que recipientes de cloro tenham sido expostos à chamas, deve-se aplicar água de resfriamento, mesmo depois do fogo ter sido apagado, até que os recipientes sejam resfriados. Os recipientes expostos ao fogo devem ser isolados e o fornecedor de cloro deve ser contatado o mais rápido possível.

4.4 Vazamentos

4.4.1 Geral

Instalações de cloro devem ser projetadas e operadas de forma a minimizar o risco de um vazamento de cloro. Entretanto, vazamentos acidentais de cloro podem ocorrer. Os efeitos gerais de tais

vazamentos devem ser avaliados.

4.4.2 Detecção de Vazamentos

Um frasco plástico do tipo bisnaga, contendo solução de hidróxido de amônio a 26 graus Baumé, deve ser usado para detectar vazamentos. Quando o vapor de amônia é direcionado para o vazamento, uma nuvem branca se formará, indicando a fonte do vazamento. Se o frasco tiver um tubo pescante, este deve ser cortado a fim de que a solução seja borrifada apenas na forma de vapor, e não na forma líquida. Evite contato da solução de amônia com latão ou cobre. Detectores eletrônicos portáteis de cloro também podem ser usados para detectar vazamentos. Se um vazamento ocorrer em um equipamento de processo ou na tubulação, deve-se interromper a transferência de cloro, despressurizar o sistema e realizar os reparos necessários.

Vazamentos em torno das hastes das válvulas de cilindros ou caminhões tanque, geralmente, podem ser sanados apertando-se a gaxeta. Se este aperto não sanar o vazamento, a válvula do recipiente deve ser fechada. Se medidas corretivas simples não forem suficientes, deve-se aplicar o Kit de Emergência apropriado para cada tipo de embalagem, e o fornecedor de cloro deve ser comunicado. Ver Seção 4.8

4.4.3 Tipos de Vazamentos

Os vazamentos de cloro podem ser classificados como instantâneos ou como contínuos.

4.4.3.1 Vazamento Instantâneo

Um vazamento instantâneo é caracterizado por uma emissão de cloro, para a atmosfera, num período de tempo relativamente curto (alguns minutos), resultando em uma nuvem que se desloca a favor do vento enquanto aumenta de tamanho e diminui em concentração. Assim, a concentração de cloro monitorada em um determinado ponto, no sentido do vento, irá variar com o tempo, dependendo da posição da nuvem de cloro.

4.4.3.2 Vazamento Contínuo

Um vazamento contínuo é caracterizado por emissão de cloro, para a atmosfera, durante um período de tempo maior (geralmente, mais de 15 minutos), resultando em uma pluma contínua que atinge um grau de concentração e tamanho equilibrados. Assim, a concentração de cloro, monitorada em um determinado ponto, no sentido do vento, será constante pelo tempo em que durar a emissão. O vazamento resultante de uma falha em uma válvula ou guarnição de um caminhão tanque, é um exemplo de emissão contínua.

4.4.4 Área Afetada

A área afetada por um vazamento de cloro e a duração da exposição dependem da quantidade total emitida, da vazão da emissão, da altura do ponto de vazamento, das condições climáticas e também da forma física do cloro que está sendo liberado, ou seja, se o produto vazou na forma líquida ou gasosa. Estes fatores são difíceis de ser avaliados em uma situação de emergência. A concentração do cloro vazado, a favor do vento, pode variar de dificilmente detectável até altas concentrações. O panfleto 74 do Chlorine Institute contem informações sobre estimativas de área afetada por vazamentos de cloro.

4.4.5 Forma Física do Cloro Vazado

O cloro se apresenta como gás ou como líquido, dependendo da pressão e da temperatura. Geralmente, o cloro é armazenado e transportado como um líquido sob pressão. O fato de a fonte de emissão ser líquida ou gasosa afeta significativamente a dispersão do produto no sentido do vento uma vez que o cloro líquido se expande em volume, quase 460 vezes, quando evapora.

Durante um vazamento, o cloro pode ser liberado na forma de gás, de líquido, ou ambas. Quando cloro líquido ou gasoso, sob pressão, é liberado, a temperatura e a pressão no interior do recipiente irão abaixar, reduzindo portanto, a vazão da emissão.

Um vazamento na forma líquida pode formar uma poça e pode até escorrer. O cloro imediatamente vai resfriar até seu ponto de ebulição (-34°C) ao entrar em contato com a atmosfera. O contato com qualquer fonte de calor – ar, solo ou água – fará com que o cloro evapore. Normalmente, a taxa de evaporação será relativamente alta no início e depois diminuirá, à medida em que a fonte de calor em torno do cloro se resfriar.

Considerando-se que água em quantidade oferece uma vasta fonte de calor para a evaporação do cloro líquido, qualquer cloro, ao cair na água, supostamente se evaporará. Por este motivo, deve-se evitar que a água entre em contato com uma poça de cloro líquido. O cloro também não deve ser direcionado para drenos de água.

4.4.6 Efeitos do Cloro no Meio Ambiente

4.4.6.1 Vegetação

O cloro gera manchas desbotadas nas folhas de plantas, devido ao ataque à clorofila das mesmas. Folhas maduras são mais susceptíveis ao cloro. Geralmente, a planta em si não é destruída, embora seu crescimento e frutificação possam ser retardados.

4.4.6.2 Animais

O “Registro de Efeitos Tóxicos de Substâncias Químicas” (1980), do “Instituto Nacional da Segurança e Saúde Ocupacional dos Estados Unidos”, apresenta o seguinte dado relacionado à inalação: LC50s

(concentração de cloro no ar, letal a 50% da população do animal em teste, com tempo de exposição acima do especificado):

Humano	840ppm/30 minutos
Rato	293ppm/60 minutos
Camundongo	137ppm/60 minutos

A menor concentração de cloro no ar, que já foi registrada como tendo sido causadora de morte em humanos ou animais, foi de 500ppm/5 minutos.

4.4.6.3 Vida Aquática

O cloro é apenas levemente solúvel na água e, em um eventual vazamento, haveria pouca absorção do cloro gasoso. Muitas formas de vida aquática são afetadas por concentrações de cloro bem abaixo de 0.1ppm.

4.5 Emergências no Transporte

Qualquer empresa que transporte cloro deve providenciar um número de telefone para emergências, disponível 24 horas.

Se um vazamento de cloro acontece, durante o transporte, em uma área densamente povoada, as medidas emergenciais devem ser aplicadas o mais rapidamente possível. Se um caminhão de cilindros de cloro sofrer um acidente e houver risco de incêndio, os cilindros devem ser removidos do veículo.

Se um caminhão tanque sofrer um acidente e houver vazamento de cloro, devem-se adotar procedimentos de emergência em conjunto com as autoridades locais. A liberação da via de tráfego não deve ocorrer até que sejam estabelecidas condições seguras de trabalho. Ver Item 4.3 para saber o que fazer em caso de incêndio.

As seguintes ações adicionais podem ser adotadas para conter ou reduzir vazamentos:

- Se um cilindro estiver com vazamento de cloro líquido, vire-o se possível, de maneira que o vazamento ocorra na forma de gás. A quantidade de cloro gerada por um vazamento de gás é muito menor que a quantidade gerada por um vazamento de cloro líquido.
- Se for possível, reduza a pressão dentro do recipiente, através da remoção de cloro gás para o processo ou para um sistema de neutralização.
- O ideal seria remover o cilindro ou caminhão tanque para um local isolado, onde as conseqüências seriam reduzidas.
- Aplique o Kit de Emergência apropriado ao tipo de embalagem. Ver Item 4.8.

Um recipiente de cloro vazando não deve ser imerso ou jogado na água; o vazamento se agravará e o mesmo poderá flutuar quando ainda estiver parcialmente cheio de cloro líquido, permitindo a evolução de gás na superfície.

Não é recomendada a expedição normal de um recipiente de cloro, com vazamento, ou que tenha sido exposto a fogo, esteja ele parcial ou totalmente carregado. Nos casos em que for necessário despachar um recipiente com problemas, o fornecedor de cloro deve ser consultado previamente.

4.6 Direcionamento do Cloro em Emergências

Se ocorrer um vazamento no local de consumo, a melhor ação é direcionar o cloro para o processo normal de uso do produto. Se necessário pode se instalar uma tubulação temporária para este fim. Se o processo de consumo não puder usar cloro sob condições de emergência, deve ser estudado um sistema de absorção alcalina. Deve-se ressaltar que sistemas que consumam cloro líquido em baixas vazões não são suficientes para reduzir significativamente a pressão do recipiente.

Para reduzir a pressão no recipiente que está suprindo cloro, este deve ser retirado na forma de gás em uma vazão suficientemente alta para causar o resfriamento do líquido remanescente. Ver Seção 2.8.2.

4.7 Sistemas de Absorção

Um sistema de absorção simples consiste de um tanque adequado capaz de estocar a solução alcalina necessária. O álcali a ser usado deve ser armazenado de forma que uma solução possa ser prontamente preparada quando necessária. Após a solução ter sido preparada, o cloro pode ser transferido do recipiente, para dentro da solução, através de uma conexão com peso suficiente para manter a saída do mangote ou flexível de transferência, abaixo do nível da solução. Não imergir o recipiente. Ver Tabelas 4.1 para dados sobre a solução recomendada (as quantidades recomendadas de álcali contém 20 % em excesso).

Observação: Quando cloro é absorvido em soluções alcalinas, o calor gerado pela reação é substancial. Soluções alcalinas podem causar queimaduras nas pessoas.

O processo de absorção deve ser monitorado para assegurar o controle da neutralização e do calor gerado. Não deixe a solução ferver e nem exceda a capacidade de reação.

4.8 Kits de Emergência e Recipientes de Recuperação

Os Kits de Emergência são projetados para conter a maioria dos vazamentos que possam ocorrer nos recipientes usados para expedir cloro. Os seguintes kits (Figura 4.1) estão disponíveis.

- *Kit A – para cilindros pequenos*
- *Kit B – para cilindros grandes*
- *Kit C – para caminhões tanque*

Tabela 4.1
Soluções Alcalinas Recomendadas para Absorção

UNIDADES MÉTRICAS

Capacidade do Recipiente de Cloro	Solução de Hidróxido de Sódio 20 % em peso		Solução de Carbonato de Sódio 10 % em peso	
	NaOH 100% kg	Água litros	Na ₂ CO ₃ 100 % kg	Água litros
45,4	61,5	246	163	1470
68	92	370	244	2200
907	1230	4920	3260	29350

Estes kits operam sob o princípio de conter vazamentos em válvulas através da aplicação de cápsulas - também conhecidas por "capacetes" ou "copos" - sobre estas válvulas. A vedação é feita com juntas de borracha. Para cilindros grandes e pequenos, existe ainda um dispositivo para selar pequenos furos nas paredes externas. Para os cilindros grandes há também dispositivos de encapsulamento para os bujões fusíveis.

Para a aplicação dos kits existem instruções detalhadas sobre o uso dos dispositivos. Nos kits estão inclusas as ferramentas necessárias para a aplicação mas os equipamentos de proteção pessoal não estão inclusos.

Normalmente, os consumidores de cloro incorporam os procedimentos para o uso destes kits em seus planos de atendimento de emergências.

Nos Estados Unidos há disponibilidade dos chamados "Vasos de Recuperação para Cilindros". Estes recipientes estão projetados para conter um cilindro

inteiro. O cilindro que apresenta vazamento pode ser colocado dentro do vaso de recuperação que é então fechado, contendo assim o vazamento. O cloro pode ser utilizado à partir do recipiente de recuperação.

É da responsabilidade dos usuários fornecer as instruções para o uso dos kits e dos recipientes de recuperação, e mantê-los em condições de uso. O fornecedor de cloro pode oferecer orientação sobre estes assuntos.

Nos locais de uso e de armazenagem de cloro, os kits de emergência devem estar disponíveis e guardados junto aos cilindros. Pessoas treinadas na sua aplicação também são imprescindíveis.

4.9 Reporte de Acidentes

Produtores, transportadores e usuários de cloro devem reportar os vazamentos ocorridos ao seu fornecedor de cloro visando uma avaliação do caso para evitar futuras ocorrências.



Figura 4.1 Kit de Emergência Tipo A para Cilindros Pequenos de Cloro

5. SEGURANÇA E TREINAMENTO DE FUNCIONÁRIOS

5.1 Treinamento de Funcionários

A segurança no manuseio de cloro depende, em grande parte, da eficiência do treinamento dos funcionários, de instruções de segurança adequadas e do emprego de equipamento apropriado. É da responsabilidade do empregador treinar seus empregados e documentar esse treinamento, conforme exigido pela regulamentação pertinente. É da responsabilidade do funcionário, a execução dos procedimentos operacionais de maneira segura, e a utilização correta do equipamento de segurança fornecido.

O treinamento de funcionários deve incluir:

- Instrução e cursos de atualização periódicos para as operações das instalações de cloro e para o manuseio de recipientes de cloro.
- Instruções sobre propriedades e efeitos fisiológicos do cloro. Estas informações constam na Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ) que deve ser disponibilizada pelo fornecedor de cloro
- Instruções de como relatar às entidades competentes, os vazamentos de cloro.
- Instruções e treinamentos periódicos referentes a:
 - Localização, serventia, e utilização de equipamento de emergência para o cloro, equipamento contra incêndio, alarmes e dispositivos de interrupção de fornecimento como válvulas, por exemplo.
 - Uso de kits de emergência O treinamento deve incluir a aplicação prática dos kits nos recipientes.
 - Localização, serventia e utilização dos Equipamentos de Proteção Individuais (EPIs).
 - Localização, serventia e utilização de chuveiros de emergência, lava-olhos .
 - Localização, serventia e utilização de equipamento para primeiros-socorros.

5.2 Equipamento de Proteção Individual (EPI)

5.2.1 Disponibilidade e Uso

A exposição ao cloro pode ocorrer sempre que houver vazamento, no seu manuseio ou na sua utilização. O Equipamento de Proteção Individual (EPI) para uso em emergências deve estar disponível em áreas afastadas de prováveis contaminações. Se o cloro for usado em locais distintos e distantes entre si, o EPI deve estar disponível perto de cada local de uso. O Panfleto 65 do Chlorine Institute contem mais informações sobre o assunto.

5.2.2 Equipamento de Proteção Respiratória

É recomendável que todo pessoal, que entre em áreas onde o cloro esteja estocado ou seja manuseado, tenha máscaras de fuga disponíveis. O equipamento de proteção respiratória deve ser escolhido com base na avaliação dos riscos e no potencial de exposição. Por exemplo, quando caminhões tanques ou cilindros são conectados ou desconectados ao processo, podem ocorrer pequenos vazamentos de cloro, o que exige o uso de proteção respiratória.

Máscaras de fuga e máscaras faciais (panorâmicas) com filtro oferecem proteção temporária adequada, desde que a quantidade de oxigênio presente na atmosfera seja superior a 19,5% e que a concentração de cloro não exceda a capacidade certificada do filtro. A necessidade de proteção dos olhos contra o cloro deve fazer parte da avaliação da adequação do equipamento de respiração. O equipamento autônomo de proteção respiratória, com cobertura total para o rosto, é necessário principalmente para o atendimento de vazamentos.

Os equipamentos autônomos de proteção respiratória devem estar localizados nas proximidades do armazenamento de cloro e das áreas de uso, prontamente acessíveis ao pessoal treinado para atendimento de emergências. Treinamentos regulares e documentados são fundamentais para se assegurar a correta utilização do equipamento autônomo de respiração.

São necessários testes de utilização e programas regulares de manutenção para os equipamentos de proteção respiratória.

5.2.3 Outros Equipamentos de Proteção Individuais

Dependendo dos riscos e da rotina de cada empresa consumidora pode ser necessária a utilização de proteção para olhos e cabeça, assim como calças longas, camisas e sapatos de segurança.

5.3 Entrada em Espaços Confinados

Os procedimentos para a entrada em espaços confinados devem cumprir os códigos e regulamentos locais aplicáveis.

Alguns pontos-chave a serem observados:

- Ao entrar em espaços confinados o funcionário deve estar equipado com dispositivo de proteção respiratória adequado, assim como outros equipamentos de proteção.
- Os funcionários devem estar equipados com um colete de segurança e um cabo de resgate.
- Durante todo o tempo que o funcionário permanecer no espaço confinado, deve haver uma pessoa, do lado de fora, supervisionando a tarefa.
- Nenhuma pessoa deve entrar no espaço confinado para resgatar uma vítima sem estar usando equipamento respiratório apropriado, colete de segurança, cabo de resgate, e contando com pessoal de apoio.

5.4 Monitoramento de Exposição ao Cloro

O odor característico do cloro revela sua presença no ar, em concentrações bem baixas. Uma vez que apenas o odor do cloro é inadequado como indicador de concentração, é essencial que alguma medida quantitativa de exposição seja determinada. Isso se faz necessário para assegurar que a saúde dos trabalhadores não seja prejudicada e para cumprir a regulamentação aplicável.

O limite estabelecido pela Occupational Safety & Health Administration (OSHA – Estados Unidos), chamado de PEL (Permissible Exposure Level) é de 1ppm, expresso como o limite máximo de exposição. A Conferência Americana de Higienistas Industriais Governamentais (ACGIH – Estados Unidos) estabeleceu os seguintes valores limite (Threshold Limit Values – TLVs): TLV-TWA (8 horas) em 0.5 ppm, e TLV-STEL (15 minutos) em 1.0 ppm.

No Brasil, a legislação determina, através da NR-15, os seguintes valores: Limite Máximo de Tolerância para até 48 horas de trabalho por semana 0,8 ppm ou 2,3 mg/m³.

Onde: ppm - partes de vapor ou gás por milhão de partes de ar contaminado.
mg/m³ - miligramas por metro cúbico de ar.

6. ASPECTOS MÉDICOS E PRIMEIROS SOCORROS

6.1 Riscos à Saúde

6.1.1 Geral

O cloro gás é primariamente um irritante respiratório. Baixas concentrações do produto no ar (bem abaixo de 1 ppm) são prontamente detectadas pela maioria das pessoas. Em baixas concentrações, o cloro gás tem um odor similar à água sanitária). À medida que a concentração aumenta, os sintomas do indivíduo exposto ao cloro também aumenta. Em concentrações acima de 5 ppm, o gás é muito irritante e é pouco provável que qualquer pessoa conseguisse permanecer no local, sob tal exposição, a não ser que a pessoa estivesse presa ou desmaiada. Os efeitos da exposição ao cloro podem tornar-se mais severos até 36 horas após o incidente. Observação cuidadosa dos indivíduos expostos deve fazer parte do programa de atendimento médico. Ver Panfletos 63 e 90 do *Chlorine Institute*.

6.1.2 Toxicidade Aguda

Em concentrações próximas do limite do olfato, o cloro gás causará uma leve irritação nos olhos e nas mucosas das vias respiratórias, após diversas horas de exposição. À medida que a concentração aumenta, aumenta também a irritação, nos olhos, nas vias respiratórias, causando tosse e conseqüente dificuldade de respirar. Se a duração da exposição e/ou da concentração continuar aumentando, o indivíduo afetado poderá tornar-se apreensivo e inquieto, com tosse acompanhada de irritação na garganta, espirros e até salvação. Em níveis mais altos, há vômitos associados à respiração forçada. Em casos extremos, a dificuldade em respirar pode progredir a ponto de causar morte por asfixia. Uma pessoa exposta ao cloro, com problemas médicos ou cardiovasculares pré-existentes, pode ter os sintomas agravados.

O cloro líquido em contato com os olhos ou com a pele causará irritação ou queimaduras. Todos os sintomas resultam direta ou indiretamente da sua ação irritante. Não se conhece nenhum efeito sistêmico proveniente da exposição ao cloro.

6.1.3 Toxicidade Crônica

A maioria dos estudos não indica uma relação significativa entre efeitos adversos à saúde e exposição crônica a baixas concentrações de cloro. Um estudo de 1983 (Referência 9.2.14), mostrou um aumento de tosses crônicas e uma tendência à hiper-secreção da mucosa, entre trabalhadores. Entretanto, estes trabalhadores não mostraram nenhuma anormalidade na função pulmonar durante a realização de testes e na avaliação de radiografias de tórax.

Em dezembro de 1993, o *Chemical Industry Institute of Toxicology* (Instituto de Toxicologia da Indústria Química dos EUA) emitiu um relatório sobre um estudo de inalação crônica de cloro, por ratos e camundongos. Os ratos e os camundongos foram expostos ao cloro gás em concentrações de 0.4, 1.0 ou 2.5 ppm por até 6 horas/dia, de 3 a 5 dias por semana, por até 2 anos. Não houve

nenhuma evidência de ocorrência de câncer. A exposição ao cloro, em todos os níveis, produziu lesões nasais. Como os roedores obrigatoriamente são respiradores nasais, não ficou claro como estes resultados devem ser interpretados em relação aos humanos.

6.2 Medidas Preventivas de Saúde

6.2.1 Exames Físicos

Recomenda-se que os produtores de cloro façam exames médicos, de admissão e periódicos, para os funcionários potencialmente expostos ao cloro. Tais exames devem consistir em um completo histórico médico e de um exame físico, incluindo Raio-X do tórax e estudos da função respiratória (FVC, FEV 1). Referências específicas às alergias respiratórias e às doenças pulmonares e cardíacas, congênicas ou adquiridas, são necessárias. Condições crônicas da vista (por exemplo, conjuntivite crônica) devem ser verificadas. Deve-se certificar que todos os funcionários estejam fisicamente aptos para usar o equipamento de proteção respiratória. Ver Panfleto 126 do *Chlorine Institute*.

Os usuários de cloro devem adotar um programa de avaliação médica condizente com suas necessidades.

6.3 Primeiros Socorros

O primeiro socorro é o tratamento imediato prestado a um indivíduo exposto ao produto, antes do atendimento de um médico. Este atendimento imediato é fundamental. A assistência médica deve ser obtida o mais rapidamente possível. Nunca administre nada por via oral a uma pessoa inconsciente ou que esteja tendo convulsões.

6.3.1 Inalação

6.3.1.1 Assistência Respiratória

Em todos os casos, inicialmente, a vítima deve ser removida para uma área livre de cloro. Se a respiração aparentemente tiver cessado, a vítima deve receber ressuscitação cardiopulmonar imediatamente. Se a respiração não tiver sido interrompida, o indivíduo exposto deverá ser colocado em uma posição confortável. Em casos graves, o paciente deve deitar-se com a cabeça e o tórax elevados a um ângulo de 45 a 60 graus. Deve-se encorajá-lo a respirar lenta e profundamente. Pessoal treinado deve administrar oxigênio úmido, por inalação, o mais rapidamente possível.

6.3.1.2 Administração de Oxigênio

O oxigênio deve ser administrado por atendentes de primeiros socorros treinados no uso específico do equipamento de oxigênio. Equipamento adequado para a administração de oxigênio deve estar disponível. Este equipamento deve ser testado periodicamente. Equipamentos de inalação mais sofisticados estão disponíveis em hospitais e pronto-socorros. Oxigênio úmido deve ser utilizado sempre que possível.

6.3.2 Contato com a Pele

Se o cloro líquido tiver entrado em contato com a pele ou com a roupa, a vítima deve se encaminhar para um chuveiro de emergência imediatamente. A roupa contaminada deve ser removida sob o chuveiro, já ligado. Lave a pele contaminada, com água corrente abundante, por 15 minutos ou mais. Queimaduras, devido à baixa temperatura do cloro líquido, podem ser mais prejudiciais que qualquer reação química entre o cloro e a pele. A exposição ao cloro gás pode irritar a pele. Não se recomenda tentar neutralizações químicas ou aplicação de unguentos e pomadas sobre a pele ferida. Um médico deve ser consultado se a irritação persistir depois da lavagem, ou se a pele estiver cortada ou com bolhas.

6.3.3 Contato com os Olhos

Se os olhos tiverem sido expostos ao cloro, deve-se lavá-los imediatamente com água corrente em abundância ou com um jato direto de água, por pelo menos 15 minutos.

Nota: Nunca tentar usar produtos químicos para neutralizar o cloro.

As pálpebras deverão ser mantidas abertas durante a lavagem, para assegurar o contato da água com todo o tecido dos olhos. Deve-se providenciar assistência médica o mais rapidamente possível. Se o atendimento médico não for imediato a irrigação dos olhos deve ser realizada por um segundo período de 15 minutos. Nada a não ser água deve ser aplicado, exceto se prescrito por um médico que conheça o tratamento para cloro.

6.4 Cuidados Médicos para a Exposição ao Cloro

6.4.1 Princípios Gerais

- Todos os indivíduos, que desenvolverem sintomas resultantes de uma super-exposição aguda por inalação de cloro gás, devem ser supervisionados por médico treinado no tratamento da exposição ao cloro.
- Não há nenhum antídoto específico conhecido, para a exposição aguda ao cloro. Entretanto, atendimento e avaliação médica imediatos são fundamentais para a obtenção de bons resultados terapêuticos.
- Se um indivíduo estiver inconsciente, ou vomitando, deve-se tomar as medidas necessárias para evitar a obstrução das vias respiratórias.
- Deve-se aliviar a ansiedade do paciente, comunicando-o dos vários procedimentos já tomados e solicitando sua cooperação, especialmente nos exercícios respiratórios.
- Posicionar a vítima em uma cadeira. Nos casos graves, o paciente deve deitar-se com a cabeça e o tórax elevados a uma posição de 45-60 graus.
- Encorajar uma respiração lenta e profunda.
- Umedecer o ar.

6.4.2 Terapia para Distúrbios Fisiológicos Específicos

Observação: as notas que se seguem, referentes à terapia, são recomendações gerais. A determinação final de procedimentos médicos específicos só deve ser feita por médico qualificado, após ampla consideração da condição geral de cada paciente. A aplicação de qualquer

tratamento, sem uma avaliação médica rigorosa, não é recomendável.

6.4.2.1 Edema Pulmonar

- Administrar de 60% a 100% de oxigênio úmido a 6 litros por minuto.
- O uso intermitente de aparelho de respiração de pressão positiva pode ser útil na redução do edema. Requer-se cautela se houver problemas médicos coexistentes (por exemplo, colapso circulatório periférico) que possam ser uma contra-indicação para seu uso.
- Testar os gases do sangue arterial para verificar o estado pulmonar.
- Raios-x do tórax são indicados (edema pulmonar pode não ser evidente antes de 36 horas após a exposição).
- Deve-se empregar monitoramento cardíaco.
- Uma furosemida diurética (lasix) pode ser usada.
- Não há evidência conclusiva a respeito do uso de corticosteróides para prevenir ou aliviar edemas pulmonares. A dosagem e frequência de administração de qualquer terapia esteróide só deve ser determinada por um médico qualificado, de acordo com a avaliação clínica realizada.
- O uso de antibióticos pode ser usado para proteger contra infecções pulmonares secundárias.

6.4.2.2 Espasmo bronquial

Bronco-dilatadores sistêmicos administrados por injeção subcutânea, intravenosa ou por nebulizador nas vias respiratórias, podem ser benéficos ao paciente se este estiver consciente e apresentar espasmos.

6.4.2.3 Aumento de Secreção das Mucosas

Tratamento de pressão positiva e detergentes nebulizados podem ser benéficos. Cuidados devem ser tomados para se manter a hidratação do paciente e para umidificar o ar respirado.

6.4.2.4 Fenômeno de Excitação

- Ocorre como resultado de estimulação central e distúrbios emocionais.
- A recuperação é mais efetiva sem o uso de sedativos.
- O uso de sedativos só deve ser considerado após avaliação médica, e empregado sob rigorosa supervisão da função respiratória.

6.4.3 Efeitos Retardados

A inalação de qualquer gás irritante pode levar a reações retardadas tais como o edema pulmonar. Já que esforços físicos parecem ter alguma relação com a incidência de reações retardadas, é recomendado que qualquer paciente, que tenha sofrido grave exposição por inalação, seja mantido em repouso durante o período de observação. O prazo de observação dependerá da avaliação clínica do indivíduo exposto. A observação poderá se estender por até vários dias após a exposição. Após uma grave exposição ao cloro, excitação, apreensão e/ou desequilíbrio emocional podem persistir por um certo período.

7. PROJETOS DE ENGENHARIA E MANUTENÇÃO

7.1 Estruturas

Prédios e estruturas para abrigar equipamentos ou recipientes de cloro devem estar em conformidade com os regulamentos locais de construção e devem ser projetados e construídos de forma a proteger as instalações contra incêndios. Se materiais inflamáveis forem armazenados ou utilizados no mesmo prédio, uma parede corta-fogo deverá ser construída para separar as duas áreas. Recomenda-se uma construção não-combustível.

Existem equipamentos de monitoramento de cloro que continuamente coletam amostras do ar e detectam a presença do produto no ar. O ideal é que se use este dispositivo em qualquer área de armazenamento ou de operação onde possa haver emissões de cloro.

Recomenda-se que pelo menos duas saídas estejam disponíveis em cada ambiente ou prédio onde o cloro é armazenado, manuseado ou usado. Portas de saída não devem ser trancadas e devem abrir para fora.

No caso de uso de plataformas, deve-se projetar duas ou mais escadarias de acesso para facilitar a saída. Estruturas de aço devem ser protegidas contra corrosão.

7.2 Ventilação

7.2.1 Geral

Todos os sistemas de ventilação para prédios que abriguem equipamentos ou recipientes de cloro devem prover ar fresco para as operações normais. Deve-se levar em consideração a possibilidade de um vazamento. Em alguns casos, ventilação natural pode ser adequada; caso contrário, sistemas de ventilação mecânica devem ser previstos.

Cuidados devem ser tomados para que pessoas, sem equipamento apropriado de proteção pessoal, não permaneçam e nem entrem em prédios, onde haja vazamentos de cloro.

7.2.2 Aberturas de Ar

O cloro gás é mais pesado do que o ar e tem uma tendência a se acumular no nível do solo. A saída de exaustão de ar deve se localizar no nível do solo. Deve haver uma entrada de ar fresco no alto, com o objetivo de formar uma corrente de ventilação. Múltiplas entradas de ar fresco e ventiladores podem ser necessários para facilitar uma ventilação adequada. Caso se usem ventiladores, o acionamento deve ser a partir de um local remoto e seguro.

Alternativamente, pode pressurizar-se as instalações com ar fresco e exaurir o ar contaminado

através de saídas no nível do solo.

7.2.2 Aquecimento

Em regiões frias, nos ambientes onde cilindros de cloro estão descarregando gás, a temperatura interna deve ser mantida entre 15 e 20° C para aumentar a vazão de descarga.

7.3 Materiais de Construção para Equipamentos de Processo

7.3.1 Geral

O cloro líquido comercial é seco o bastante para ser manuseado em equipamentos de aço carbono. No processo de fabricação, por haver processos onde o cloro contém umidade, deve-se ter rigor na escolha dos materiais de construção.

7.3.2 Água

O cloro úmido pode ser manuseado com segurança em uma variedade de materiais que são escolhidos conforme as condições de processo. Certos materiais, como o titânio, são adequados para o cloro úmido mas não para o cloro seco. O titânio reage violentamente com o cloro seco. A Referência 9.2.13. indica que o titânio é um material adequado para cloro gás úmido, desde que a pressão parcial do componente água seja maior que 14 mbar (0.20 psi) e que a temperatura esteja entre 15°C e 70°C.

7.3.3 Temperatura

O aço carbono empregado no manuseio do cloro seco deve ser mantido dentro de determinados limites de temperatura. Caso as temperaturas do processo excedam 149° C, o material empregado deverá ser mais resistente que o aço carbono em termos de corrosão a altas temperaturas. Acima de 200° C o cloro ataca o aço rapidamente. Acima de 251° C a reação é imediata, e o aço carbono inflama-se na presença do cloro. Impurezas presentes no cloro podem diminuir significativamente esta temperatura de auto-ignição. O mesmo pode ocorrer com superfícies de aço com áreas muito extensas.

Há também a possibilidade de ocorrer fraturas por fragilidade em determinados equipamentos de processamento do cloro e nos tanques de estocagem, em função de baixas temperaturas. Neste caso, deve-se utilizar um tipo de aço que resista à temperatura mais baixa prevista para o processo.

7.3.4 Produtos Químicos

Normalmente, diversos produtos químicos são utilizados na fabricação do cloro, incluindo-se ácido sulfúrico, mercúrio, certos sais, oxigênio e outros produtos gerados pela reação com o cloro. Os materiais de construção devem ser selecionados de modo a proteger as instalações contra as substâncias corrosivas e perigosas presentes no processo de fabricação.

7.3.5 Materiais Alternativos

Além do aço, uma grande variedade de materiais pode ser utilizada no manuseio de cloro. Muitos deles, em especial os plásticos, são adequados mas têm limitações de pressão e temperatura que precisam ser levadas em conta. Cuidados devem ser tomados para se evitar danos mecânicos externos.

7.4 Células Eletrolíticas

7.4.1 Geral

O cloro pode ser produzido eletroliticamente por células a membrana, diafragma ou células a mercúrio.

7.4.2 Células a Membrana

O célula a membrana é a mais nova tecnologia para se produzir cloro eletroliticamente. Camadas de membranas de troca iônica, construídas em polímeros perfluorados, separam os ânodos dos cátodos dentro do eletrolizador. Uma solução ultrapura de cloreto de sódio (salmoura) é alimentada aos compartimentos do ânodo onde os íons cloreto são oxidados para formar o cloro gás. As membranas são seletivas de cátions, o que resulta no predomínio de íons de sódio e na migração da água, através das membranas, para os compartimentos do cátodo. A água é reduzida para formar hidrogênio gás e íons de hidróxido nos cátodos. No compartimento catódico, íons de hidróxido e íons de sódio se combinam para formar o hidróxido de sódio.

Os eletrolizadores das células membrana geralmente produzem hidróxido de sódio (soda cáustica) com teores entre 30% e 35 %, contendo menos que 50 ppm de cloreto de sódio. O hidróxido de sódio pode ainda ser concentrado, geralmente até 50%, em um sistema de evaporação.

7.4.3 Células a Diafragma

Os produtos gerados por este tipo de célula são o cloro gás, o hidrogênio gás e um licor composto de solução de hidróxido de sódio e cloreto de sódio.

Uma solução de salmoura quase saturada entra no compartimento anódico da célula a diafragma e flui através do diafragma para a seção catódica.

Íons cloreto são oxidados no ânodo produzindo cloro gás.

Hidrogênio gás e íons de hidróxido são produzidos no cátodo. Os íons de sódio migram através do diafragma do compartimento anódico para o lado do cátodo para produzir o licor de célula que contem de 10% a 12% de hidróxido de sódio. Os íons cloreto também migram através do diafragma, o que gera no licor de célula uma concentração de 16% de cloreto de sódio. Depois disto, o licor de célula é geralmente concentrado a 50% de hidróxido de sódio através de um processo de evaporação. O sal recuperado no processo de evaporação é retornado ao sistema de salmoura para ser usado novamente.

7.4.4 Células a Mercúrio

Em uma célula a mercúrio, o cátodo é uma corrente de mercúrio fluindo pelo fundo do eletrolizador. Os ânodos estão suspensos, paralelos à base das células, poucos milímetros acima do mercúrio que flui. Salmoura é alimentada em um dos extremos da célula e esta flui por gravidade entre os ânodos e o cátodo. O cloro gás é gerado e liberado no ânodo.

Os íons de sódio são depositados ao longo da superfície do cátodo de mercúrio que está fluindo. O metal alcalino dissolve-se no mercúrio, formando um amálgama líquido. O amálgama flui, por gravidade, do eletrolizador para o decompositor, preenchido com grafite, onde água deionizada é adicionada. A água retira quimicamente o metal alcalino do mercúrio, produzindo hidrogênio e hidróxido de sódio a 50 %. (No decompositor, o amálgama é o ânodo e o grafite é o cátodo.) O mercúrio retirado é então bombeado de volta para a célula, onde o processo eletrolítico é repetido.

7.5 Cloradores

O equipamento de alimentação de cloro gás deve ser cuidadosamente escolhido. Equipamento operado a vácuo oferece a operação mais segura, para baixas capacidades. Para capacidades mais elevadas, um sistema de "pressão-vácuo" pode ser necessário. Tubulações e conexões devem ser minimizadas para diminuir a possibilidade de vazamentos. Os fabricantes destes tipos de equipamentos podem recomendar projetos de sistemas otimizados.

7.6 Evaporadores

Sistemas de alimentação de cloro gás de alta capacidade podem necessitar de um evaporador de cloro. Os evaporadores são geralmente aquecidos por água quente ou vapor. Deve-se dar muita atenção ao projeto e à operação de tais sistemas. Ver Panfleto 9 do Chlorine Institute.

7.7 Equipamentos

7.7.1 Geral

Os principais equipamentos usados nos serviços com cloro são tratados neste item. Os equipamentos usados com cloro devem ser projetados considerando-se se o cloro é seco ou úmido, de forma que os materiais de construção adequados sejam escolhidos. A maioria dos equipamentos usados nos serviços com cloro deve ser construído obedecendo-se códigos ou regulamentos específicos, como por exemplo, ANSI, ASME e outros.

7.7.2 Vasos

Os materiais de construção utilizados nas aplicações com cloro úmido incluem aço revestido com certos plásticos ou borrachas, poliéster reforçado e titânio. Os vasos usados nos serviços com cloro seco são geralmente de aço carbono.

O padrão mínimo de fabricação para recipientes de metal operando acima de 15 psig (1,05 kgf/cm²) é o citado no Código ASME para vasos de pressão. Recipientes operando abaixo de 15 psig (1,05 kgf/cm²) não têm exigências do código ASME, mas devem ser projetados de acordo com a especificação do fabricante. Vasos usados em serviço a vácuo requerem projetos especiais para se evitar colapso.

7.7.3 Trocadores de Calor

Trocadores de calor metálicos devem ser projetados e fabricados de acordo com os códigos e classificações de materiais ASME. Normalmente se usa titânio para cloro úmido, e aço carbono para "cloro seco". Ver Seção 7.3.2

7.7.4 Bombas

Bombas para soluções aquosas contendo cloro são construídas de uma vasta gama de materiais, tais como aço revestido de materiais plásticos ou borracha, poliéster reforçado e titânio. Bombas para cloro líquido seco são equipamentos especiais e devem ser adquiridas em fornecedores reconhecidamente habilitados.

7.7.5 Compressores

Os compressores utilizados em serviços com cloro seco incluem os centrífugos, não-lubrificadas, e os selados com anel líquido de ácido sulfúrico. Os compressores devem ser construídos de acordo com o código ASME pertinente e com as especificações adequadas às aplicações. Alumínio, cobre e ligas de cobre devem ser evitados.

Às vezes, são utilizados ventiladores para aumentar a pressão ou para transferir cloro gás para sistemas de

neutralização. Para cloro úmido, os materiais usados devem ser revestidos com borracha, poliéster reforçado com fibra de vidro ou titânio. Para cloro seco, normalmente se utiliza aço carbono.

7.7.6 Lavadores de Gases (Scrubbers)

Embora o uso de *scrubbers* seja um meio efetivo de absorver o cloro, a necessidade de um *scrubber* deve ser baseada em uma avaliação específica de riscos, na qual se considerasse fatores tais como a quantidade de cloro no local, a probabilidade de vazamento, e as conseqüências de possíveis vazamentos. Ver Panfleto 89 do Chlorine Institute.

7.8 Tubulações para Cloro Seco

As tubulações descritas neste item, dizem respeito somente a tubulações fixas instaladas acima do solo. Para informações mais detalhadas sobre sistemas de tubulações para cloro seco, recomenda-se consultar o Panfleto 6 do Chlorine Institute.

7.8.1 Materiais

Em geral, recomenda-se tubulação de aço carbono para manuseio de cloro seco. Aço inoxidável da série 300 tem propriedades úteis para o serviço à baixa temperatura, mas pode falhar devido à corrosão por craqueamento, particularmente na presença de umidade à altas temperaturas, ou mesmo à temperatura ambiente.

7.8.2 Projeto e Instalação

7.8.2.1 Projeto Geral

O arranjo das tubulações deve optar pelas distâncias mais curtas, e deve ser prático do ponto de vista de flexibilidade, expansão das linhas e bons princípios da engenharia. Os sistemas de tubulação devem ser adequadamente fixados e inclinados para permitir drenagem. Os pontos baixos devem ser minimizados.

Deve-se evitar a instalação de tubulações de cloro perto de linhas de vapor, linhas de ácidos pois poderia haver risco de causar corrosão na linha do cloro. Proteja a tubulação de cloro contra todos os riscos de calor excessivo ou fogo.

Chuveiros contra incêndios ("sprinklers") não são necessários nas áreas de estocagem e uso de cloro que tenham sido construídas e mantidas dentro das recomendações deste manual. Nestes locais, nenhum material combustível ou inflamável deve estar presente. Se os "sprinklers" forem instalados, eles devem ser usados apenas para apagar incêndios e/ou resfriar recipientes ameaçados por fogo.

7.8.2.2 Expansão de Cloro Líquido

O cloro líquido tem um alto coeficiente de expansão térmica. Ver Figura 8.2. Se o cloro líquido ficar confinado entre duas válvulas, um aumento na temperatura do líquido preso resultará em altas pressões que, potencialmente, podem levar à ruptura da linha. Esta linha pode ser protegida por uma câmara de expansão adequadamente projetada e operada; ou por uma válvula de alívio de pressão; ou ainda por um disco de ruptura.

7.8.2.3 Condensação

A condensação ou reliquefação do cloro pode ocorrer nas linhas de cloro gás que passem por áreas onde a temperatura esteja abaixo do equilíbrio temperatura-pressão indicado na curva de pressão de vapor (Figura 8.1)

Geralmente, a condensação pode ser evitada pelo uso de uma válvula redutora de pressão, ou aquecendo-se a linha com resistências ("tracing") e isolamento térmico. Qualquer instalação para aquecimento das linhas deve ser projetada de forma que a temperatura da superfície da tubulação não exceda 149° C, eliminando-se assim a possibilidade de uma reação entre o cloro e o aço carbono.

7.8.2.4 Instalação

As conexões das tubulações de cloro podem ser flangeadas, rosqueadas ou soldadas, dependendo do tamanho do tubo. No projeto das tubulações deve-se prever o menor número possível de conexões flangeadas ou rosqueadas. Se forem usadas conexões rosqueadas, deve-se tomar muito cuidado para que as roscas estejam sempre limpas. Deve-se usar uma vedação de rosca compatível com o cloro.

Antes de cortar ou soldar uma linha de cloro, deve-se verificar se o sistema está isento de cloro. O cloro seco pode manter a combustão do aço carbono, níquel e outros materiais.

7.8.3 Preparação das Tubulações para Uso

7.8.3.1 Limpeza

Todas as partes de uma tubulação nova devem ser limpas antes do uso porque o cloro pode reagir violentamente com óleo de corte, graxa e outras matérias estranhas, principalmente material orgânico. A limpeza não deve ser feita com hidrocarbonetos ou álcoois, já que o cloro pode reagir violentamente com muitos solventes. Válvulas novas ou outros equipamentos que contenham óleos ou graxas devem ser desmontados e limpos antes do uso. Ver Panfleto 6 do Chlorine Institute.

7.8.3.2 Teste de Pressão

Tubulações novas de cloro devem ser testadas de

acordo com algum dos métodos recomendados no Panfleto 6 do Chlorine Institute. Devem-se remover ou bloquear componentes que possam ser danificados durante o teste. É essencial que as instalações de cloro estejam secas, conforme descrito a seguir, antes de serem colocadas em serviço.

7.8.3.3 Secagem

Tubulações de cloro devem sempre ser secadas antes do uso. Mesmo que água não tenha sido introduzida propositadamente no sistema, para realização de teste hidrostático ou limpeza, a secagem ainda é necessária devido à entrada de umidade da atmosfera, ou de outras fontes, durante manutenções e montagem.

A secagem pode ser facilitada à medida que o sistema é limpo passando-se vapor através das linhas; iniciando-se pela extremidade mais alta, até que as linhas estejam aquecidas. Enquanto se passa o vapor, os materiais condensados e as impurezas são drenados para fora do sistema. Depois disso, o suprimento de vapor deverá então ser desconectado e todos os bolsões e pontos baixos da linha devem ser drenados. Enquanto a linha ainda estiver aquecida, ar seco ou nitrogênio (com Ponto de Orvalho de 40° C negativos ou menor) deve ser pressurizado pela linha até que o gás da saída também esteja com Ponto de Orvalho de 40° C negativos ou menor.

7.8.3.4 Teste de Vazamento

Após a secagem, o sistema deve ser testado, quanto a vazamentos, utilizando-se ar seco ou nitrogênio. Uma solução de sabão deve ser utilizada para testar se há vazamentos nas conexões das tubulações. Cloro gás poderá então ser introduzido gradualmente e o sistema deve ser testado novamente quanto a vazamentos, utilizando-se solução de hidróxido de amônio a 20° Baume. Deve-se ter certeza que o cloro esteja distribuído por todo o sistema de tubulação antes do teste de vazamento. Nunca se deve tentar sanar vazamentos através de soldagem, até que todo o cloro tenha sido retirado do sistema. Quando os vazamentos estiverem sanados, a linha deverá ser testada novamente.

7.9 Tubulações para Cloro Úmido

O cloro úmido é muito corrosivo para todos os materiais metálicos mais comuns. À baixa pressão, o cloro úmido pode ser manuseado em equipamentos de porcelana, vidro ou cerâmica e também, em certas ligas. Borracha dura, PVC, poliéster reforçado com fibra de vidro, cloreto ou fluoreto de polivinilideno e resinas de fluorocarbono totalmente halogenadas têm sido usados com sucesso. Todos estes materiais devem ser selecionados com cuidado. Para pressões mais altas,

devem ser usadas tubulações metálicas revestidas ou metais compatíveis com cloro úmido.

Em termos de materiais metálicos, titânio, Hastelloy C, e tântalo podem ser usados. O titânio pode ser usado com cloro úmido mas não deve ser usado com o cloro seco em nenhuma hipótese, pois o metal queima espontaneamente ao entrar em contato com o cloro. O tântalo é inerte tanto ao cloro úmido como ao cloro seco, a temperaturas inferiores a 149° C.

7.10 Tanques Estacionários

Os consumidores que recebem cloro em caminhões tanque podem necessitar de tanques estacionários. Os tanques devem ser adequadamente projetados e devem ser operados, e periodicamente inspecionados, de acordo com as recomendações dos Panfletos 5 e 78 do Chlorine Institute.

Um tanque não deve ser carregado além da sua capacidade de cloro porque o cloro líquido se expandirá à medida que se aquecer. À temperaturas normais de estocagem, a expansão térmica do cloro líquido é alta e, se não for deixado espaço para esta expansão, a pressão hidrostática poderia aumentar até causar uma ruptura do tanque. O nível máximo de cloro deve ser determinado pela densidade de enchimento.

7.11 Manutenção de Equipamentos

7.11.1 Geral

A manutenção de tanques e equipamentos de cloro deve ser realizada por pessoal habilitado. Todas as precauções referentes a segurança, equipamentos de proteção, riscos à saúde e riscos de incêndio devem ser revistas. Não se deve tentar fazer manutenção em tubulações ou equipamentos de cloro, enquanto estes estiverem em uso. Antes de se realizar manutenção ou limpeza em instalações de cloro, tanques, tubulações e outros equipamentos devem sempre ser purgados com ar seco ou nitrogênio.

A descontaminação é especialmente importante quando operações de corte ou soldagem estiverem sendo realizadas, pois ferro e aço entram em ignição ao entrar em contato com cloro, em temperaturas próximas a 250° C. Tubulações e outros equipamentos que tenham sido abertos para manutenções, ou que tiveram contato com água – por exemplo, em testes hidrostáticos – devem ser secados imediatamente, para evitar corrosão.

7.11.2 Limpeza de Tubulações e Outros Equipamentos

A umidade pode penetrar em um sistema de cloro, de diversas maneiras: nas operações de conexão e desconexão de caminhões tanque ou cilindros, através de conexões quebradas ou ainda durante a realização de

manutenções.

Se as instalações forem metálicas, haverá sempre uma pequena quantidade de cloreto férrico. Este cloreto férrico irá absorver a umidade e transformar-se em um líquido marrom, viscoso e corrosivo. Se não for removido, esse líquido viscoso irá continuar a corroer o metal e poderá rapidamente entupir as linhas de cloro e equipamentos, tais como evaporadores. Este cloreto férrico hidratado é corrosivo para muitos metais, inclusive para o Hastelloy®C.

Vapor ou água quente dissolvem rapidamente o cloreto férrico. Entretanto, linhas ou equipamentos que tenham recebido este tipo de limpeza devem ser secados cuidadosamente antes de serem colocados em operação novamente. Vapor não pode ser utilizado em equipamento plástico a não ser que se tenha certeza que esse material plástico específico possa suportar à temperatura. Qualquer instrumentação instalada na linha deve ser protegida durante o processo de limpeza. A limpeza de tubulações e de vários outros equipamentos é discutida no Panfleto 6 do Chlorine Institute.

7.11.3 Entrada em Tanques

Inspeção, limpeza e manutenção em tanques de cloro são discutidas no Panfleto 5 do Chlorine Institute. Toda tubulação ligada ao tanque deve ser desconectada e fechada antes de se entrar para realizar o serviço. Ver Item 5.3.

7.12 Neutralização de Cloro

Caso um processo que consuma cloro, também for projetado para receber descartes de resíduos clorados, alguns cuidados especiais são necessários. Todas as regulamentações governamentais referentes à saúde e segurança, ou à poluição de recursos naturais devem ser seguidas.

Recomenda-se um sistema para neutralizar todo e qualquer cloro degasado das instalações, nas operações de preparação de manutenção e quando houver problemas de processo, tais como uma súbita falha do compressor de cloro, problemas durante a inicialização de um circuito, etc .

A neutralização é obtida fazendo-se com que o cloro reaja com uma solução de hidróxido de sódio ou, em certas situações, com outro composto alcalino. A neutralização pode acontecer em um tanque projetado para este fim, ou em um lavador de gases. A concentração de hidróxido de sódio deve ser menor que 20% para evitar calor de reação excessivo, e precipitação de cristais de cloreto de sódio. Ver Panfleto 89 do Chlorine Institute.

8. DADOS TÉCNICOS

8.1 Geral

O cloro tem um odor característico, penetrante e irritante. O gás é de cor verde amarelada, e o líquido é de uma cor âmbar (amarelo escuro). Os dados sobre as propriedades físicas do cloro de acordo com diferentes pesquisadores mostram algumas variações. Os valores das propriedades físicas apresentados a seguir são extraídos do Panfleto 72 do Chlorine Institute.

8.2 Propriedades Atômicas e Moleculares

Símbolo Atômico – Cl
Peso Atômico – 35,453
Número Atômico – 17
Peso Molecular – 70,906

O cloro elementar existe na forma de dois isótopos naturais com números de massa de 35 e 37. O cloro molecular comum consiste de uma mistura de cerca de 76% de cloro 35 e 24% de cloro 37. Há ainda pelo menos 13 isótopos de cloro artificialmente produzidos.

8.3 Propriedades Químicas

8.3.1 Inflamabilidade

O cloro gás ou líquido não é explosivo e nem inflamável; contudo, a exemplo do oxigênio, é um oxidante e portanto é capaz de contribuir para a combustão de certas substâncias. Muitos produtos químicos orgânicos reagem rapidamente com o cloro, às vezes de forma violenta.

8.3.2 Valência

Geralmente o cloro forma compostos com uma valência de -1, mas pode combinar-se também com valências de +1, +2, +3, +4, +5 ou +7.

8.3.3 Reações Químicas

8.3.3.1 Reações com Água

O cloro é apenas levemente solúvel em água.

Quando reage com água pura, forma-se uma solução fraca de ácido clorídrico e ácido hipocloroso. Hidrato de cloro ($\text{Cl}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) pode cristalizar abaixo de (9.6°C) à pressão atmosférica e também a temperaturas mais elevadas se submetido a pressões maiores.

8.3.3.2 Reações com Metais

O grau da reação do cloro seco com a maioria dos metais aumenta rapidamente acima de determinadas temperaturas, conforme o tipo de metal. Abaixo de 121°C , ferro, cobre, aço, chumbo, níquel, platina, prata e tântalo são resistentes ao cloro seco, gasoso ou líquido. À temperaturas normais o cloro seco, gasoso ou líquido, reage com alumínio, arsênio, ouro, mercúrio, selênio, telúrio e estanho. O cloro seco reage violentamente com titânio. A certas temperaturas, o sódio e o potássio queimam se forem expostos ao cloro gás. O aço carbono sofre ignição perto de 250°C , dependendo de sua forma física. Para recomendações sobre tubulações ver Panfleto 6 do Chlorine Institute. O cloro úmido é muito corrosivo à maioria dos metais comuns, principalmente por causa do ácido clorídrico e hipocloroso formados pela hidrólise. Platina, prata, tântalo e titânio são resistentes ao cloro úmido.

8.3.3.3 Reações com Outros Elementos

O cloro se une, sob condições específicas, com a maioria dos elementos. Estas reações podem ser extremamente rápidas. Na sua temperatura de ebulição, o cloro reage com enxofre. O cloro não reage diretamente com oxigênio ou nitrogênio. Os óxidos e compostos de nitrogênio são bem conhecidos mas só podem ser preparados por métodos indiretos.

Misturas de hidrogênio e cloro podem reagir violentamente. Os limites de ignição dependem de temperatura, pressão e concentração das duas substâncias. Entre 21° e 27°C os limites de ignição variam entre 3% e 93%, em volume de hidrogênio. A ignição pode ser iniciada por luz solar direta, outras fontes de luz ultravioleta, eletricidade estática ou impactos violentos.

8.3.3.4 Reação com Compostos Inorgânicos

A preparação de alvejantes tais como hipocloritos de sódio e de cálcio são reações típicas do cloro com hidróxidos alcalinos e hidróxidos de metais alcalino-terrosos. Os hipocloritos formados são poderosos agentes oxidantes. Devido à sua grande afinidade pelo hidrogênio, o cloro remove o mesmo de alguns compostos, como por exemplo, na reação com sulfeto de hidrogênio formando ácido clorídrico e enxofre. O cloro, na forma de íon hipocloroso, reage com os íons de amônia para formar várias misturas de cloraminas. Em pH baixo, a cloramina predominante formada é o explosivo tricloreto de nitrogênio (NCl_3).

8.3.3.5 Reações com Compostos Orgânicos

O cloro reage com muitos compostos orgânicos formando derivados clorados. Cloreto de hidrogênio é frequentemente formado como subproduto destas reações. Algumas reações podem ser extremamente violentas, especialmente aquelas com hidrocarbonetos, álcoois e éteres. Métodos adequados devem ser adotados quando se reagir materiais orgânicos com cloro, seja em escala de laboratório ou em escala industrial.

8.4 Propriedades Físicas

As propriedades físicas apresentadas a seguir são referentes ao cloro puro. O termo "Condições Padrão" significam temperatura de 0°C e uma pressão absoluta de 14,696 psi (101,325 kPa ou 1,03 kgf/cm²).

8.4.1 Ponto de Ebulição (Ponto de Liquefação)

33,97° C negativos. É a temperatura na qual o cloro líquido evapora, sob uma pressão de uma atmosfera (1 atm) ou 101,325 kPa.

8.4.2 Propriedades Críticas

8.4.2.1 Densidade Crítica

573 kg/m³. É a massa de uma unidade de volume de cloro à pressão e temperatura críticas.

8.4.2.2 Pressão Crítica

1157 psia ou 7977 kPa. É a pressão do vapor de cloro líquido na temperatura crítica.

8.4.2.3 Temperatura Crítica

143,75°C. É a temperatura acima da qual o cloro existe apenas como um gás, não importando quão alta seja a pressão.

8.4.2.4 Volume Crítico

0,001745 m³/kg. É o volume de uma unidade de massa de cloro à pressão e temperatura críticas.

8.4.3 Densidade

A massa de uma unidade de volume de cloro sob condições especificadas de temperatura e pressão. Ver Figura 8.2

8.4.3.1 Gás nas Condições Padrão

3,213 kg/ m³

8.4.3.2 Gás Saturado

A 0°C: 12,23 kg/ m³. A pressão absoluta a 0°C é de 53,51 psi (368,9 kPa).

8.4.3.3 Líquido Saturado

1467 kg/m³ a 0°C; 1422 kg/m³ a 15,6° C – A pressão absoluta do cloro líquido a 15,6° C é de 86,58 psi (597,0 kPa)

8.4.4 Ponto de Congelamento

Ver Ponto de Fusão. Item 8.4.7

8.4.5 Calor Latente de Vaporização

288,1 kJ/kg na temperatura normal de ebulição. É o calor necessário para evaporar uma unidade de peso de cloro

8.4.6 Relação Volume Líquido/Gás

Nas condições padrão, o peso de um volume de cloro líquido é igual ao peso de 456,5 volumes de cloro gasoso.

8.4.7 Ponto de Fusão – Ponto de Congelamento

100,98°C negativos (-100,98°C). É a temperatura na qual o cloro sólido funde ou o cloro líquido se solidifica, à pressão de uma atmosfera (1 atm).

8.4.8 Solubilidade na Água

É o peso de cloro que pode ser dissolvido em uma determinada quantidade de água, a uma determinada temperatura e pressão. Ver Fig. 8.3. A 15,6°C e uma atmosfera (101,325 kPa), a solubilidade é de 8,30 kg/ m³

8.4.9 Peso Específico

8.4.9.1 Gás

2,485 - É a relação entre a densidade do cloro gás, nas condições padrão, e a densidade do ar sob as mesmas condições. (A densidade do ar, livre de umidade, em condições padrão é de 1,2929 kg/ m³).

8.4.9.2 Líquido

1,467 (0/4°C). É a relação entre a densidade do cloro líquido saturado, à 0°C, e a densidade da água na sua densidade máxima (aproximadamente 4°C).

8.4.10 Calor Específico

É o calor necessário para elevar a temperatura de uma unidade de peso de cloro em um grau.

8.4.10.1 Gás Saturado a Pressão Constante (C_p)

0,521 kJ/kg.° K a 0°C; 0,564 kJ/kg.° K a 25°C

8.4.10.2 Gás Saturado à Volume Constante (C_v)

0,3721 kJ/kg.° K a 0°C; 0,3895 kJ/kg.° K a 25°C

8.4.10.3 Líquido Saturado

0,948 kJ/kg.° K a 0°C; 0,975 kJ/kg.° K a 25°C

8.4.10.4 Relação C_p/C_v

Relação entre o calor específico de um gás a pressão constante, e o calor específico de um gás a volume constante. C_p/C_v : 1,400 para gás saturado a 0°C e 1,448 para gás saturado a 25°C.

8.4.11 Volume Específico

É o volume de uma unidade de massa de cloro em condições específicas de temperatura e pressão.

8.4.11.1 Gás nas Condições Padrão

0,3113 m³ /kg

8.4.11.2 Gás Saturado a 0°C

0,08179 m³/kg

8.4.11.3 Líquido Saturado a 0°C

0,0006818 m³/kg

8.4.12 Pressão de Vapor

É a pressão absoluta do cloro gás acima do cloro líquido quando estes se encontram em equilíbrio: 53.51 psi (368,9 kPa) a 0°C; 112,95 psi (778,8 kPa) a 25° C. Ver Figura 8.1.

8.4.13 Viscosidade

É a medida da fricção molecular interna quando as moléculas de cloro estão em movimento.

8.4.13.1 Gás Saturado

0,0125 centipoise (0,0125 mPa.s) a 0°C; 0,0132 centipoise (0,0132 mPa.s) a 15,6°C

8.4.13.2 Líquido

0,3863 centipoise (0,3863 mPa.s) a 0°C; 0,3538 centipoise (0,3538 mPa.s) a 15,6° C

8.4.14 Relação Volume/Temperatura de Cloro Líquido em um Recipiente Carregado até o seu Limite Autorizado

Ver Figura 8.4

8.4.15 Solubilidade da Água em Cloro Líquido

Ver Figuras 8.5 e 8.6

FIGURA 8.1
PRESSÃO DE VAPOR DE CLORO LÍQUIDO

Pressão de Vapor de Cloro Líquido
 (Calculado à partir de dados do Panfleto 72 do Chlorine Institute)

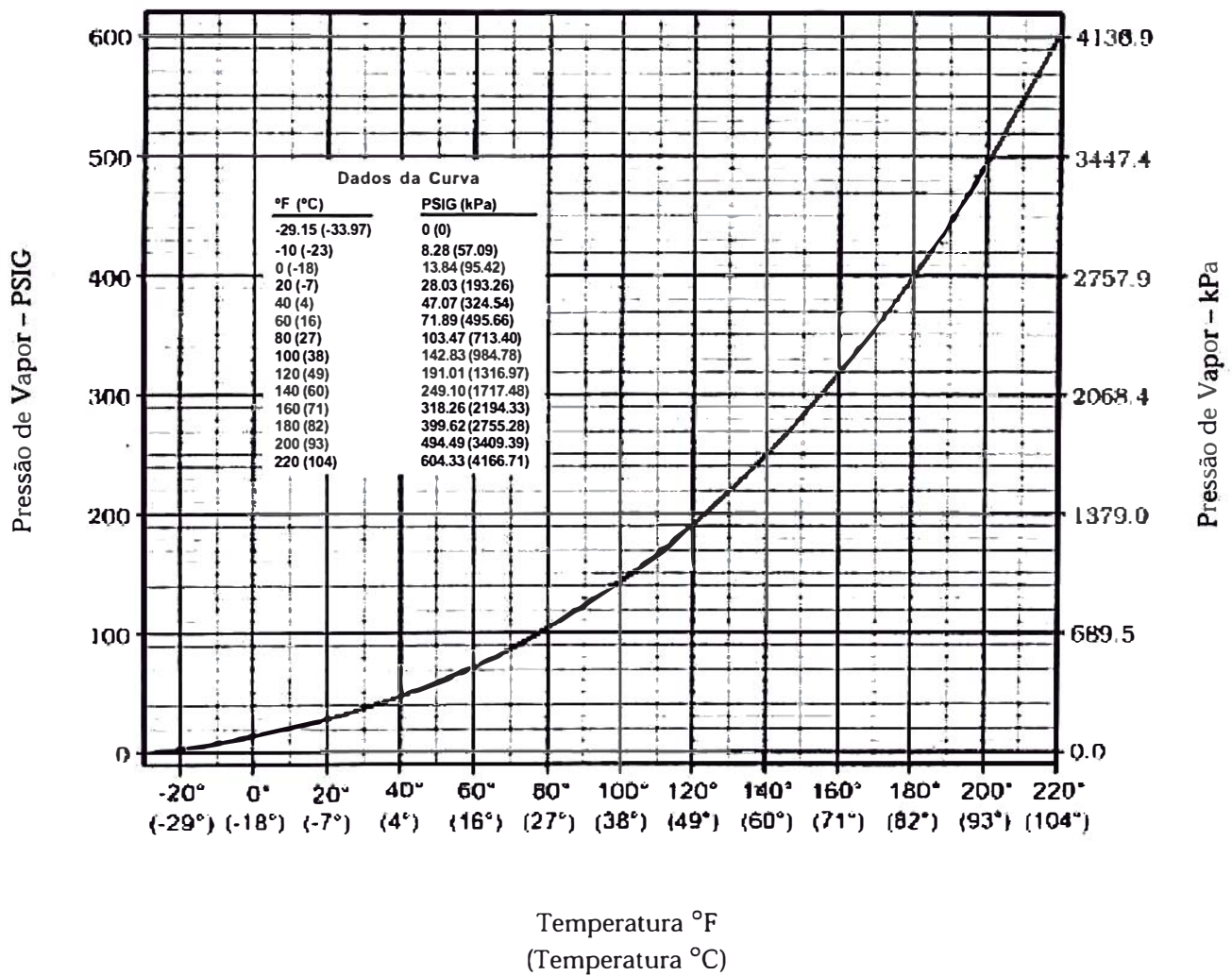


FIGURA 8.2

RELAÇÃO TEMPERATURA / DENSIDADE DE CLORO LÍQUIDO

Relação Temperatura/Densidade de Cloro Líquido
(Calculado à partir de dados do Panfleto 72 do Chlorine Institute)

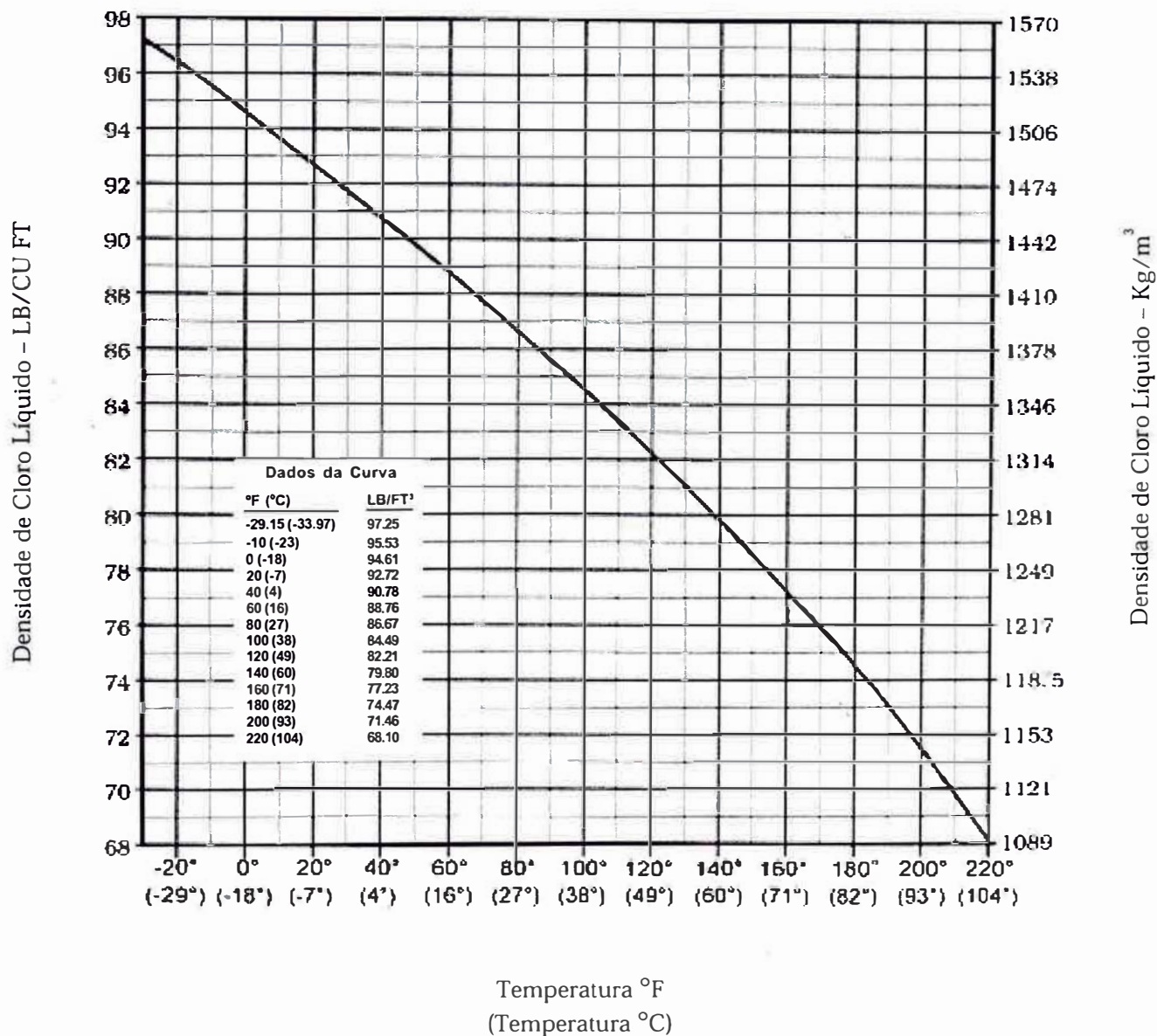


FIGURA 8.3

SOLUBILIDADE DE CLORO EM ÁGUA

Equilíbrio da Solução de Cloro em Água
(Referência 9.2.1)

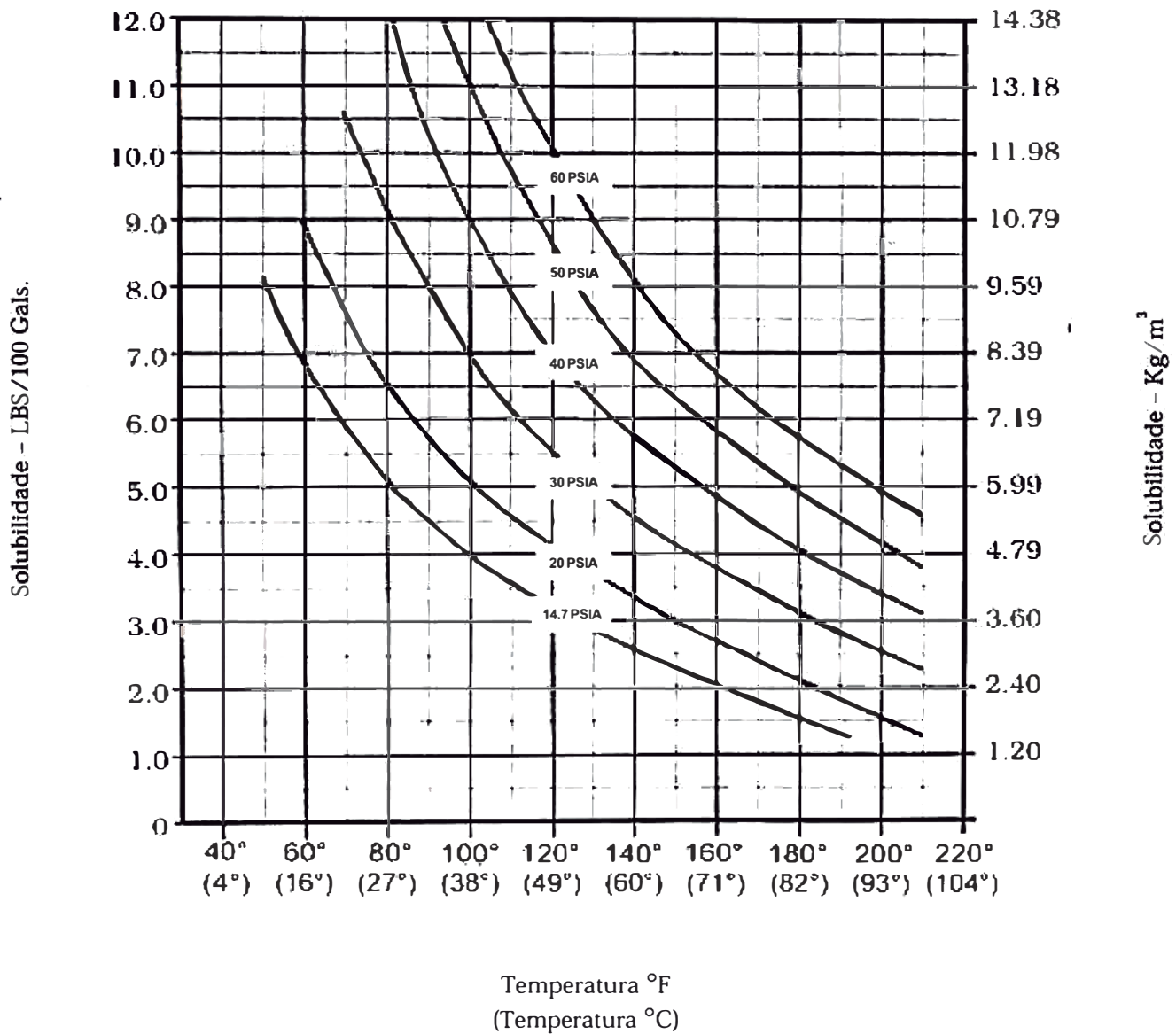
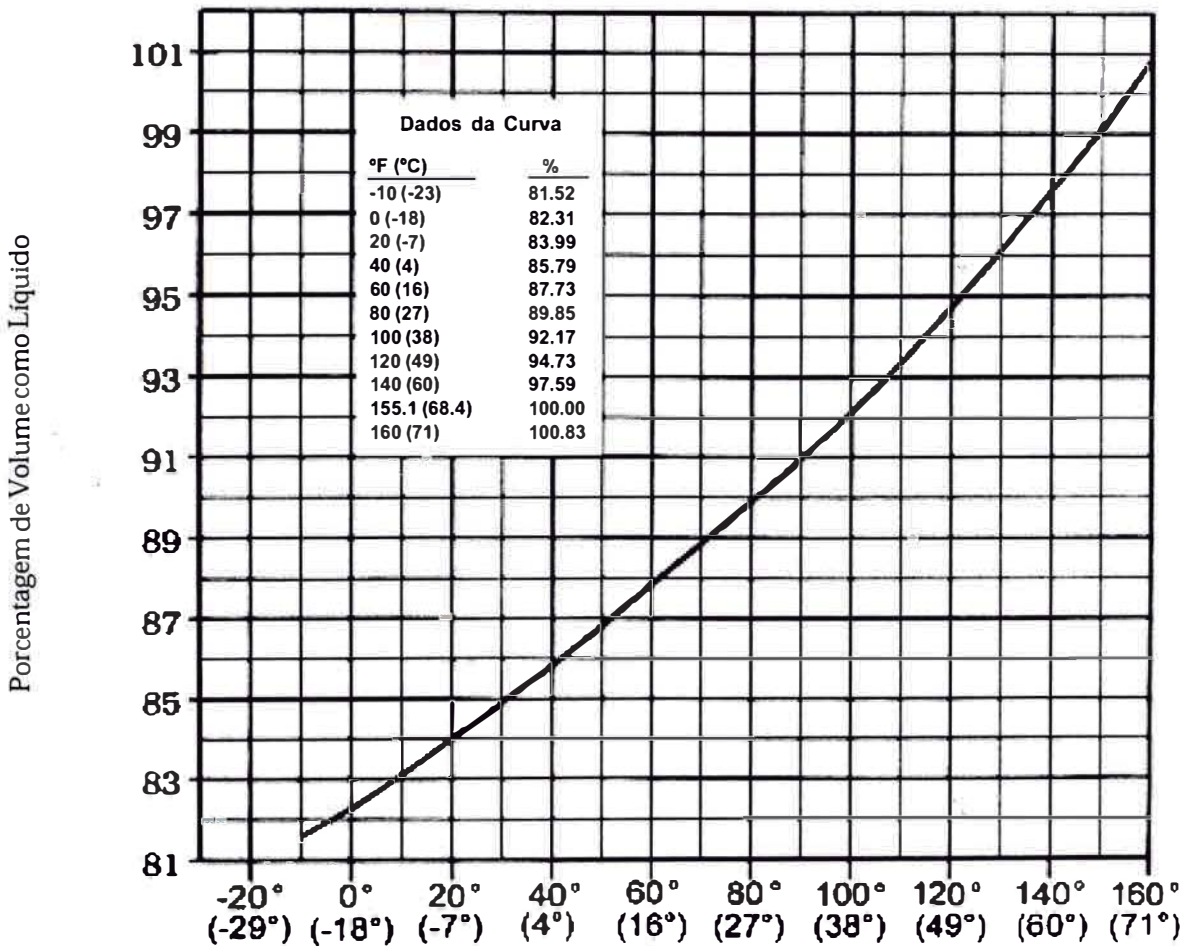


FIGURA 8.4

RELAÇÃO VOLUME/TEMPERATURA DE CLORO LÍQUIDO EM UM RECIPIENTE CARREGADO ATÉ O LIMITE PERMITIDO

Relação Volume/Temperatura de Cloro Líquido em um Recipiente Carregado até o Limite Permitido (Calculado de dados do Panfleto 72 do Chlorine Institute)



Temperatura °F
(Temperatura °C)

FIGURA 8.5

SOLUBILIDADE DE ÁGUA EM CLORO LÍQUIDO

Solubilidade de Água em Cloro Líquido
(Referência : Panfleto 100 do Chlorine Institute)

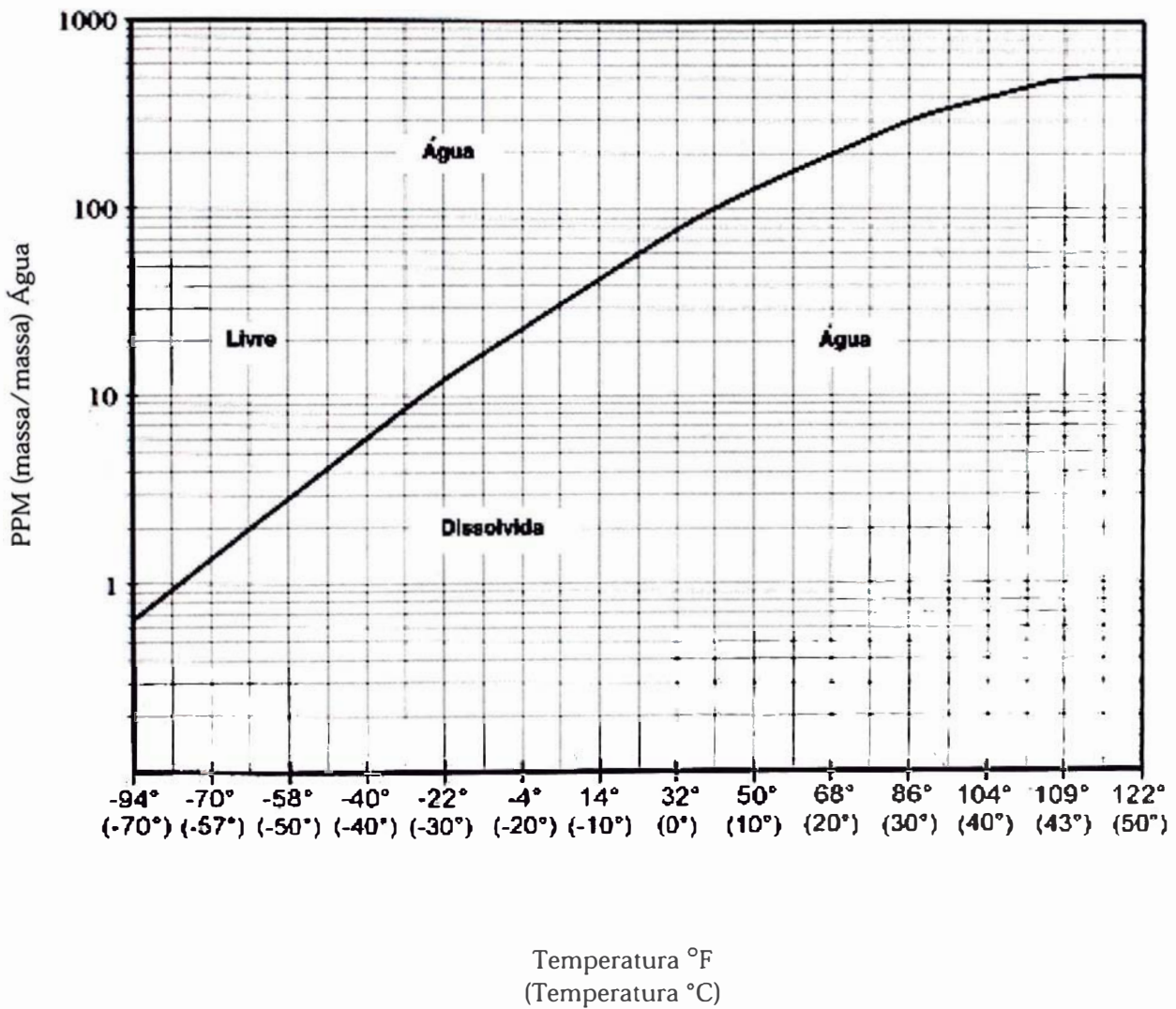
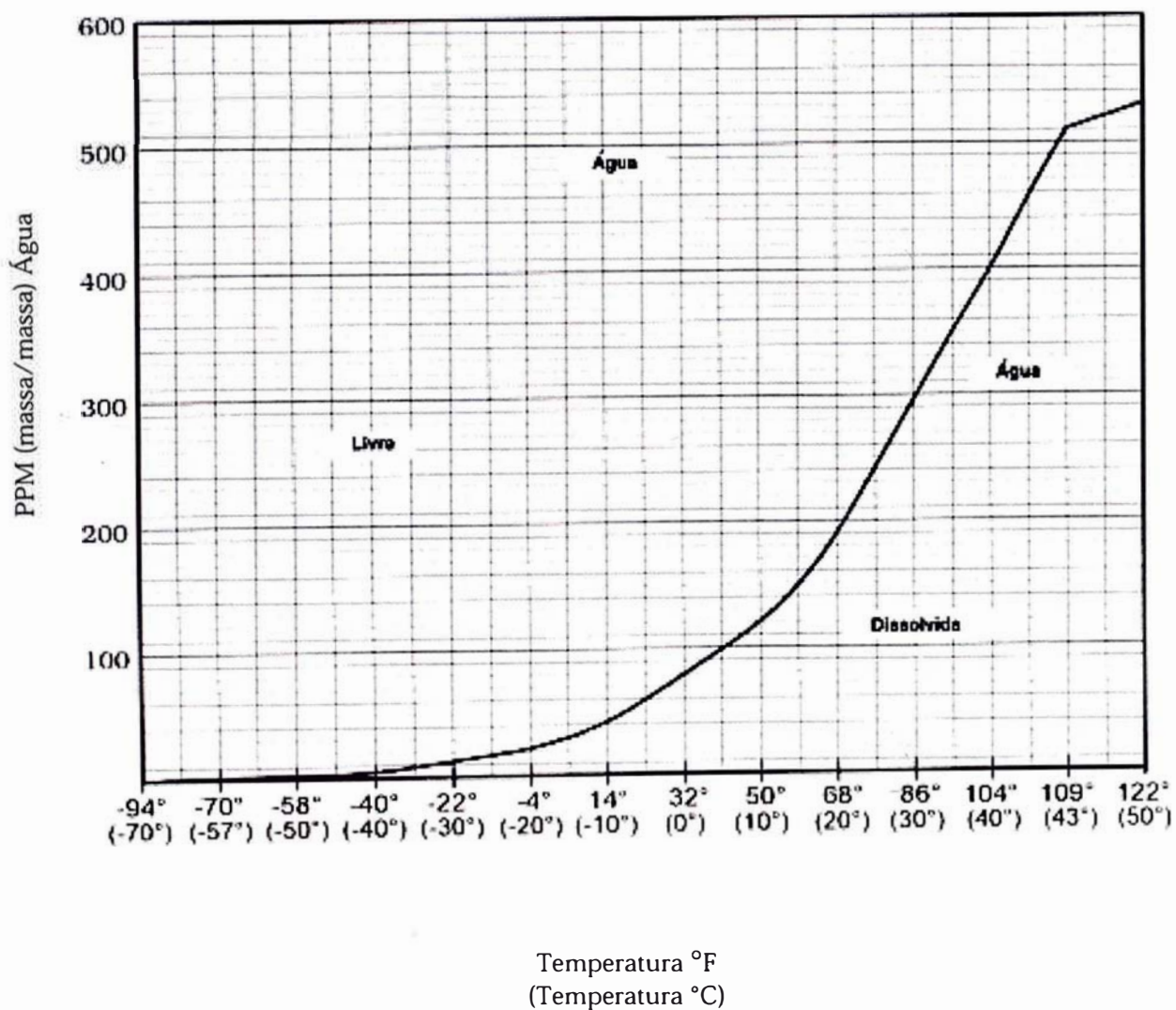


FIGURA 8.6

SOLUBILIDADE DE ÁGUA EM CLORO LÍQUIDO

Solubilidade de Água em Cloro Líquido
(Referência : Panfleto 100 do Chlorine Institute)



9. REFERÊNCIAS SELECIONADAS

Muitas das referências a seguir são citadas no texto. Tais referências são de edições atuais, na data de publicação deste manual. O leitor deve estar atento às atualizações das referências citadas.

9.1 Referências do Chlorine Institute

9.1.1 Panfletos e Livretos de Instrução

5	<i>Non-Refrigerated Liquid Chlorine Storage</i>	76	<i>Guidelines for the Safe Motor Vehicular Transportation of Chlorine Containers</i>
6	<i>Piping Systems for Dry Chlorine</i>	77	<i>Sampling Liquid Chlorine</i>
9	<i>Chlorine Vaporizing Systems</i>	78	<i>Refrigerated Liquid Chlorine Storage</i>
17	<i>Cylinder and Ton Container Procedures for Chlorine Packaging</i>	79	<i>Recommended Practices for Handling Chlorine Barges</i>
21	<i>Nitrogen Trichloride – A Collection of Reports and Papers</i>	82	<i>Chlorine Safety at Non-Residential Swimming Pools</i>
39	<i>Maintenance Instructions for Chlorine Institute Standard Safety Valves, Type 1-1/2JQ</i>	84	<i>Environmental Fate of Chlorine in the Atmosphere</i>
40	<i>Maintenance Instructions for Chlorine Institute Standard Angle Valve</i>	85	<i>Recommendations for Prevention of Personnel Injuries for Chlorine Producer and User Facilities</i>
41	<i>Maintenance Instructions for Chlorine Institute Standard Safety Valves, Type 4 JQ</i>	86	<i>Recommendations to Chlor-Alkali Manufacturing Facilities for the Prevention of Chlorine Releases</i>
42	<i>Maintenance Instructions for Chlorine Institute Standard Excess Flow Valves</i>	89	<i>Chlorine Scrubbing Systems</i>
49	<i>Handling Chlorine Tank Motor Vehicles</i>	90	<i>Toxicity Summary for Chlorine and Hypochlorite and Chlorine in Drinking Water</i>
57	<i>Emergency Shut-Off Facilities for Tank Car/Tank Truck Transfer of Chlorine</i>	91	<i>Checklist for Chlorine Packaging Plants, Chlorine Distributors and Tank Car Users of Chlorine</i>
60	<i>Chlorine Pipelines</i>	93	<i>Pneumatically Operated Valves for Use on Chlorine Tank Cars</i>
63	<i>First Aid and Medical Management of Chlorine Exposures</i>	95	<i>Gaskets for Chlorine Service</i>
64	<i>Emergency Response Plans for Chlorine Facilities</i>	97	<i>Safety Guidelines for Swimming Pool Applicators</i>
65	<i>Personal Protective Equipment for Chlorine and Sodium Hydroxide</i>	100	<i>Dry Chlorine: Definitions and Analytical Issues</i>
66	<i>Recommended Practices for Handling Chlorine Tank Cars</i>	121	<i>Explosive Properties of Gaseous Mixtures Containing Hydrogen and Chlorine</i>
72	<i>Properties of Chlorine in SI Units</i>	126	<i>Guidelines: Medical Surveillance and Hygiene Monitoring Practices for Control of Worker Exposure to Chlorine in the Chlor-Alkali Industry</i>
73	<i>Atmospheric Monitoring Equipment for Chlorine</i>	134	<i>The Drying and Liquefaction of Chlorine and the Phase Diaphragm $Cl_2 - H_2O$</i>
74	<i>Estimating the Area Affected by a Chlorine Release</i>	139	<i>Electrical Safety in Chlor-Alkali Cell Facilities</i>
75	<i>Respiratory Protection Guidelines for Chlor-Alkali</i>	151	<i>Training Guide for Distributors and End-Users of Packaged Chlorine</i>

152 *Safe Handling of Chlorine Containing Nitrogen Trichloride*

IB/A *Instruction Booklet: Chlorine Institute Emergency Kit "A" for 100- and 150-lb. Chlorine Cylinders*

IB/B *Instruction Booklet: Chlorine Institute Emergency Kit "B" for Chlorine Ton Containers*

IB/C *Instruction Booklet: Chlorine Institute Emergency Kit "C" for Chlorine Tank Cars and Tank Trucks*

IB/RV *Instruction Booklet: CI Recovery Vessel for 100- and 150-lb. Chlorine Cylinders*

VCP *The Vapor Pressure of Chlorine*

9.1.2 Desenhos e Ilustrações

O leitor deve consultar o catálogo atual do Chlorine Institute para obter uma lista completa dos desenhos e ilustrações.

DWG 104 *Standard Chlorine Angle Valve Assembly*

DWG 110 *Valve for Chlorine Cylinders and Ton Containers – Assembly*

DWG 111 *Fusible Plugs for Chlorine Cylinders and Ton Containers*

DWG 112 *Valves and Fusible Plugs for Chlorine Ton Containers*

DWG 113 *Valves for Chlorine Cylinders and Ton Containers*

DWG 114 *Excess Flow Valve with Removable Seat – 15,000 lb/hr*

DWG 118 *Chlorine Tank Car Unloading Connections*

DWG 121 *Limiting Dimensions for Chlorine Cylinders*

DWG 122 *Ton Container Lifting Beam*

DWG 130 *Standard Chlorine Cylinder and Ton Container Valve Adapter*

DWG 131 *Chlorine Cylinder Valve Yoke*

DWG136 *Chlorine Expansion Chambers*

DWG 162 *Excess Flow Valve with Removable Seat – 30,000 lb/hr*

DWG 163 *Excess Flow Valve with Removable Seat – 11,000 lb/hr*

DWG 167 *Chlorine Tank Car Marking*

DWG 168 *Chlorine Cargo Tank Marking*

DWG 181 *DOT 106A500X – Ton Container*

DWG 183 *Manifolding Ton Containers for Liquid Chlorine Withdrawal*

DWG 188 *Chlorine Cylinder Recovery Vessel*

9.2 Outras Referências

9.2.1 Adams, F. W.; Edmonds, R. G.; *I&EC*. 1937, 29, 447.

9.2.2 Ambrose, D.; Hall, D. J.; Lee, D. A.; Lewis, G. B.; Mash, C. J. J.; *Chemical Thermodynamics*, 1979, 11, 1089.

9.2.3 *Chlorine Bicentennial Symposium*; Jeffery, T.; Danna, P. A.; Holden, H. S., Eds.; Electrochemical Society: Princeton, NJ, 1974.

9.2.4 *Chlorine, Its Manufacture, Properties and Uses*; Sconce, J. S. ed.; ACS Monograph 154; Robert E. Krieger: Huntington, NY, 1972.

9.2.5 Heinemann, G.; Garrison, F. G.; Haber, P. A.; *I&EC*. 1946, 38, 497.

9.2.6 *Interpretive Review of the Potential Adverse Effects of Chlorinated Organic Chemicals on Human Health and the Environment, Report of an Expert Panel*; Coulston, F. and Kolbye, A. C., Eds.; Regulatory Toxicology and Pharmacology Journal; Academic Press: New York, NY, 1994.

9.2.7 *Alkali and Chlorine Products and Chlorine and Sodium Hydroxide*; Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology; ed. 4; Editor: John Wiley & Sons, New York, NY, 1991.

9.2.8 Kowitz, T. A.; Reba, R. C.; Parker, R. T.; Spicer, W. S.; *Arch of Environmental Health*, 1967, 14, 545.

9.2.9 *Modern Chlor-Alkali Technology*; Jackson, C., Ed; Society of Chemical Industry; John Wiley & Sons: New York, NY, 1983; Vol. 2.

9.2.10 Patty, F. A.; *Industrial Hygiene and Toxicology*; Interscience: New York, NY.

9.2.11 Rotman, Harold H., et al.; *Journal of the American Physiological Society*, 1983, 1120, 983.

9.2.12 Weill, H.; George, R.; Schwartz, M.; Ziskind, M.; *Am. Review of Respiratory Diseases*, 1969, 29, 373.

9.2.13 Weston, P. C. *Modern Chlor-Alkali Technology*; Coulter, M. O., et al, Eds.; Society of Chemical Industry; Royal Society of Chemistry: Cambridge, 1994; Vol. 6, pp 62-69.

9.2.14 Grenquist-Norden, B.; Institute of Occupational Health, 1983, pp 1-83.

CORO

O ELEMENTO ESSENCIAL

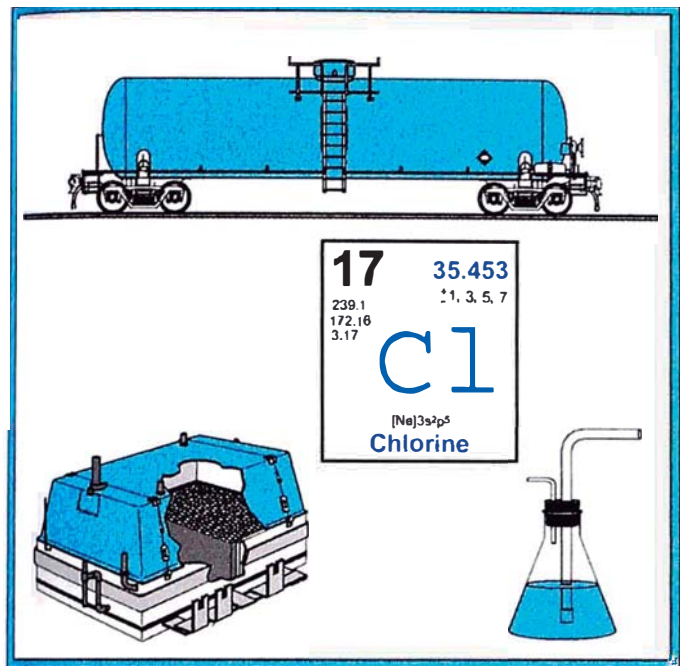
Há mais de 200 anos, um jovem pesquisador sueco, Carl Wilhelm Scheele, descobriu o cloro. Devido à sua reatividade e facilidade de se ligar com outras substâncias, o cloro se tornou um elemento fundamental na química e é essencial na vida de todos. Água potável, produção agrícola, esgotos desinfetados, produtos químicos industriais essenciais, alvejantes, combustíveis, todos dependem do cloro. Produtos farmacêuticos, plásticos, tintas, cosméticos, vernizes, equipamentos eletrônicos, adesivos, vestimentas e peças automobilísticas são exemplos de grupos de produtos que dependem da química do cloro.

APLICAÇÕES DO CLORO

Automotivo	Vidros que não estilhaçam	Tratamento de câncer
Espuma de assentos	Peças de aeronaves em titânio	Moderadores de dor
Pintura	Motores a jato	Anestésicos locais
Vernizes	Mísseis	Anti - histamínicos
Pára-choques plásticos		Descongestionantes
Moldes	Eletrônica	
Instrumentos	Semicondutores	Produção de Metais
Tapetes	Discos de computador	Magnésio
Tecidos	Isolamento de fiação	Níquel
Cintos de segurança		Bismuto
Tramas de Pneus	Manuseio e Produção	Titânio
Painéis	de Comida	Zircônio
Mangueiras	Herbicidas	Zinco
	Vitaminas B1 & B6	
Construção	Produtos de limpeza	Recreação ao Ar Livre
Carpets	Desinfetantes	Roupas impermeáveis de neoprene
Estofamentos	Isolamento térmico	Balsas infláveis
Isolamento de fiação	Empacotamento estéril	Empunhadura de tacos de golfe
Tubulações		Pranchas de surfe
Rodapés	Saúde	Cordas de náilon
Pisos	Instrumentos eletrônicos	Barracas
Tintas	Empacotamento estéril	Sacos de dormir
Vernizes	Equipamentos cirúrgicos	Casacos
	Produtos de limpeza	Mochilas
Defesa	Objetos de uso ocular	Roupas impermeáveis
Coletes à prova de bala	Reagentes de laboratório	
Capacetes		Tratamento de Água
Pára-quedas	Remédios	Água potável
Fibras impermeáveis	Antibióticos	Tratamento de esgotos

ANEXO 03

OxyChem Chlorine Handbook



Page

- History and Growth of Chlorine2
- Production Process3
- Characteristics.....4
- Chlorine Containers.....4
 - Cylinders5
 - Ton Containers8
 - Tank Cars11
 - Cargo Tank Trucks14
- Handling Equipment.....15
- Safety and Emergency Information17
- Technical Data20

Foreword

This handbook outlines the methods for handling, storing, and using chlorine. It also includes information on the manufacture and physical properties of chlorine.

Additional information and contacts can be found on the internet at www.oxychem.com

Occidental Chemical Corporation
Basic Chemicals Group
Occidental Tower
5005 LBJ Freeway
Dallas, Texas 75244

THE INFORMATION PRESENTED HEREIN WAS PREPARED BY TECHNICAL PERSONNEL AND IS TRUE AND ACCURATE TO THE BEST OF OUR KNOWLEDGE. OXYCHEM DOES NOT MAKE ANY WARRANTY OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE, EXPRESS OR IMPLIED, REGARDING PERFORMANCE, STABILITY OR ANY OTHER CHARACTERISTIC. THE INFORMATION CONTAINED HEREIN IS NOT TO BE CONSTRUED AS AN EXPRESS WARRANTY CONCERNING THE PERFORMANCE, STABILITY OR ANY OTHER CHARACTERISTIC OF ANY OXY-CHEM PRODUCT. THIS INFORMATION IS NOT INTENDED TO BE ALL-INCLUSIVE AS TO MANNER OR CONDITIONS OF USE. HANDLING, STORAGE, DISPOSAL AND OTHER ACTIVITIES MAY INVOLVE OTHER OR ADDITIONAL LEGAL, SAFETY OR PERFORMANCE CONSIDERATIONS WHILE OUR TECHNICAL PERSONNEL WILL RESPOND TO ANY QUESTIONS REGARDING SAFE HANDLING AND USE PROCEDURES, SAFE HANDLING AND USE REMAINS THE RESPONSIBILITY OF THE CUSTOMER. NO SUGGESTIONS FOR USE ARE INTENDED AS, AND NOTHING HEREIN SHALL BE CONSTRUED AS A RECOMMENDATION TO INFRINGE ANY EXISTING PATENT OR TO VIOLATE ANY FEDERAL, STATE OR LOCAL LAW.

History and Growth of Chlorine

The earliest annals of chemistry mention chlorine compounds. In 77 A.D., Pliny the Elder published one of the first practical collections of chemical reactions. His formula for gold purification generated chlorine as a by-product in the form of hydrogen chloride. But more than 800 years passed before written records showed that the Arabs had learned to react chlorine with water to produce hydrochloric acid.

Around 1200 A. D., alchemists discovered that a mixture of hydrochloric and nitric acids dissolved gold. This procedure generates chlorine, but there is no record that a heavy greenish gas was evolved. In 1630, Belgian Jean Baptiste van Helmont wrote of a "salt gas" that we know contained chlorine, but it wasn't until 1774 that Swedish apothecary, Carl Wilhelm Scheele, generated, collected, and studied chlorine as an end in itself.

Even Scheele's discovery was nearly accidental. He collected chlorine out of simple curiosity. Perhaps he too would have treated the gas casually if he hadn't, on some impulse, placed some leaves and flowers into a bottle of chlorine. Within minutes the plants had turned white, and man had the first historical record of the bleaching action of chlorine.

Scheele's discovery came when both modern chemistry and the industrial revolution were taking their first halting steps down paths that would soon change the course of history. Antoine Lavoisier, the father of modern chemistry, took note of Scheele's work and quickly became embroiled in a controversy over whether chlorine was an element or a compound. Meanwhile, textile producers in the French town of Javelle heard of the bleaching action of this gas, and in 1789 bubbled it through a potash solution producing *eau de Javelle*, *Javelle Water*, the first commercial liquid chlorine bleach.

The eruption of the French Revolution cut short the intellectual ferment begun by Lavoisier and his followers. Lavoisier himself was guillotined in 1793, but his chemistry had crossed the English Channel. Once again, scientific curiosity paralleled commercial necessity. Humphry Davy, the English father of electrolysis, demonstrated that chlorine was an element with properties useful to Britain's rapidly expanding textile and paper industries.

In the 1830's Michael Faraday, Davy's lab assistant, produced a definitive work on both the electrolytic generation of chlorine and the ease of its liquefaction. In 1851, Charles Watt obtained the first English patent for an electrolytic chlorine production cell.

Through the 1880's and 1890's producers in Germany, England, Canada, and the United States refined chlorine technology. Around 1890, German producers learned that, while wet liquid chlorine was almost impossible to package, removal of all water allowed safe shipment in ordinary iron or steel pressure vessels.

By the early 1900's, chlorine was produced in mercury and diaphragm electrolytic cells and shipped in liquid form as a matter of course. A modern chlorine industry had formed. By 1913, the first permanent liquid chlorine water purification system had been installed in Philadelphia. The following year, Altoona, Pennsylvania, became the first city to treat sewage with liquid chlorine.

World War I brought added impetus to North American chlorine production. Submarine warfare practically eliminated imports of chemicals from Europe at a time when markets for many chemicals, including chlorine, were growing rapidly. By the end of the war, the United States had a large and firmly entrenched domestic chlorine industry.

In the 1930's, the world's chemical industry erupted in a period of extraordinary growth that still continues. Bleaching properties of chlorine became just one of its major uses. Its disinfecting properties remained vital to health, but became a minor market for a chemical that would soon affect almost every human activity.

Today, we use chlorine as a raw material in the manufacture of polyvinyl chloride, a plastic used in fabricating flooring, pipe, wallpaper, clothing, furniture, and a wide range of household products. We treat our illnesses with complex drugs and spray our crops with insecticides, herbicides, and fungicides which contain chlorine as part of their basic structure. Chlorinated chemicals also enable us to refrigerate and freeze our food, cool our homes, offices and cars, and even insulate our buildings from the heat and cold.

One of the most important uses of chlorine is helping produce chemicals that contain no chlorine at all. Chlorine and chlorine chemicals help promote reactions that produce chemicals for antifreeze, textile lubricants, fabric softeners, book-binding pastes, solvents for lacquers, brake fluids, polyester fibers, and a host of other products.

Production Process

The basic raw material for the process, salt, comes from either mines or underground wells. Mined salt is dissolved with water to form raw brine. In other cases, water is pumped into salt deposits, forming brine in the earth that is tapped and drawn off from the resulting brine well.

Raw brine contains impurities that interfere with chlorine-caustic production. They are removed by chemical treatment, settling, and filtration. The purified brine is pumped to the cell room. The cell room contains one of three types of electrolytic cells for decomposing

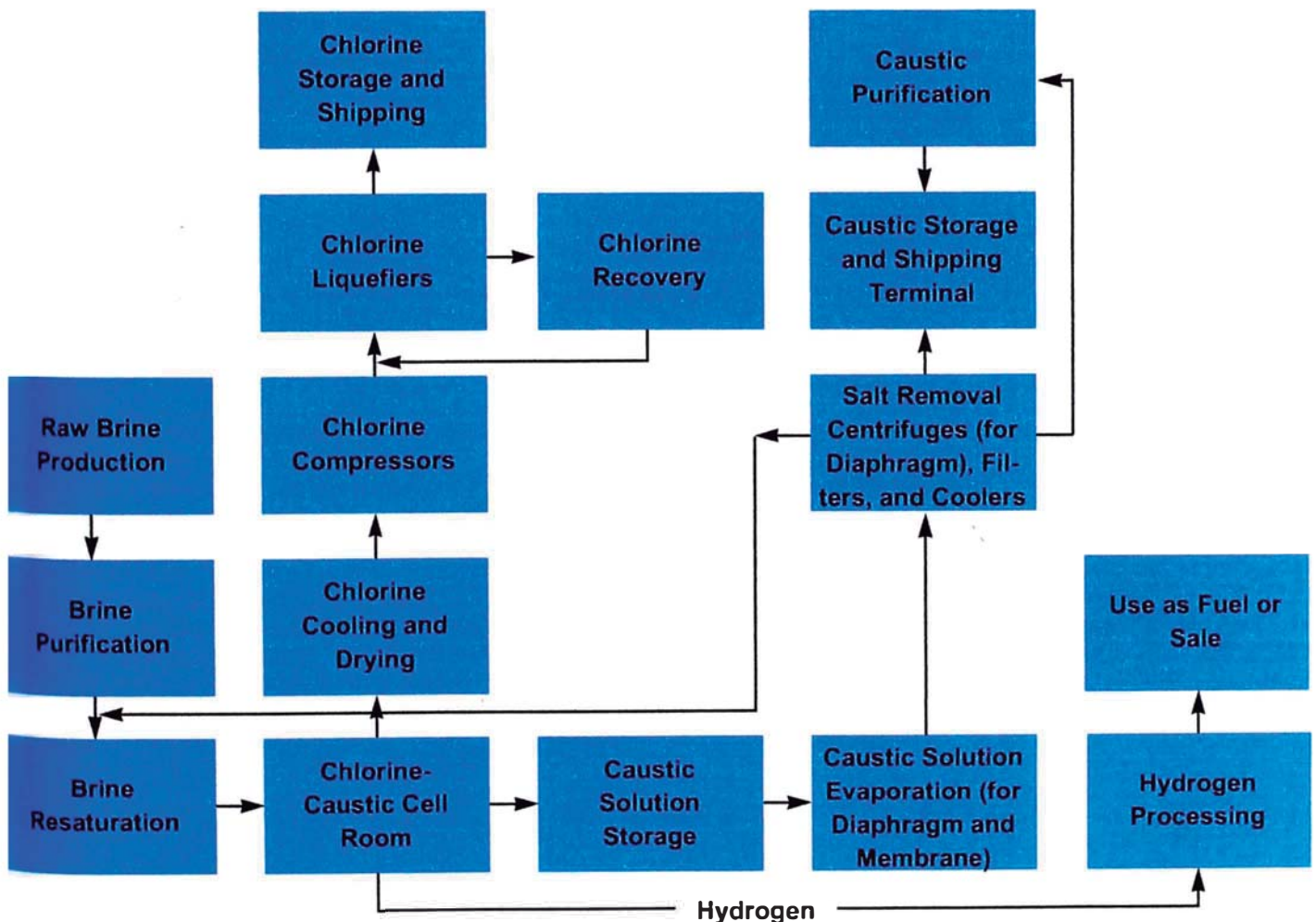
brine into chlorine, caustic soda, and hydrogen. These three cell types are diaphragm, membrane, or mercury cells.

The chlorine that leaves the cell is hot and wet, and therefore very corrosive. It must be cooled and dried before it can be processed in ordinary steel equipment. In addition, the chlorine stream is contaminated with air, hydrogen, and some carbon dioxide (due to small amounts of carbon bearing chemicals in the brine).

Once the chlorine stream is cooled and dried, compressors and refrigeration machines are used to liquefy the gas. Chlorine is most easily handled as a liquid in specially designed pressure containers.

Any gaseous contaminants in the chlorine stream are removed. Small amounts of chlorine mixed with them are nearly completely recovered. The recovered chlorine is then returned to the liquefaction process.

Chlorine Process



Characteristics

Chlorine, at ordinary conditions of temperature and pressure, is a greenish-yellow gas with a pungent and irritating odor. Since chlorine is very active chemically, it is found in nature only in combination with other elements. Sodium chloride, for example, is widely and abundantly distributed in nature and constitutes the chief source of chlorine. Because gaseous chlorine is approximately two-and-one-half times as heavy as air, it is slow to diffuse into the air. It tends to accumulate in low places.

Gaseous chlorine can be liquefied by the application of pressure at reduced temperatures to form a clear, amber-colored liquid. Liquid chlorine is approximately one-and-one-half times as heavy as water.

In the presence of moisture, both gaseous and liquid chlorine are extremely corrosive to common metals of construction. At low pressures, wet chlorine can be handled in equipment made of glass, chemical stoneware, titanium, and certain plastics. Installations employing wet

chlorine require special care and recommendations can be made only after a thorough and careful investigation. Platinum, tantalum, and titanium are some of the metals resistant to moist chlorine.

Dry chlorine, both gaseous and liquid, can be handled safely in equipment fabricated from iron, steel, certain stainless steels, Monel metal, nickel, copper, brass, bronze, and lead. These metals are not aggressively attacked by dry chlorine but the slightest trace of moisture will cause severe corrosion. However, dry chlorine attacks metals at elevated temperatures. Chlorine reacts with carbon steel at elevated temperatures. Operations above 250°F should be avoided.

Since chlorine boils at about -30°F, under certain conditions it can embrittle ordinary carbon steels. If temperatures below -20°F are expected to occur, special carbon steels, or other materials of construction should be considered.

Chlorine is an excellent oxidizing agent which accounts for its widespread use as a bleaching agent. Liquid and gaseous chlorine are nonflammable and will not support combustion in the normal sense. However, chlorine will support the combustion of certain materials under special conditions.

Dry chlorine has an extremely high affinity for moisture. Regardless of the environmental conditions of temperature and humidity, all open ends of chlorine pipelines should be sealed with rubber stoppers or some type of moisture-tight closure when not in use. An open end of a chlorine delivery line will, within a time interval of only a few minutes, pick up sufficient moisture from the atmosphere to cause severe corrosion.

Chlorine Containers

Chlorine is supplied in packages of varying sizes according to the requirements of the customer. Cylinders of 100 pounds or 150 pounds capacity are available to customers needing small quantities. Ton containers (2000 lbs. net) can be supplied to consumers requiring intermediate tonnage. Containers of these sizes are supplied by independent distributors (Repackagers) and not by OxyChem.

Additionally, chlorine cargo tank trucks of 15 to 20 tons capacity are in limited use and only available from certain Repackagers.

Receipt of chlorine by tank car requires special handling and compliance with the Department of Transportation (DOT) Hazardous Materials Regulations, CFR Title 49. Tank cars are supplied by OxyChem and are available in 90 ton capacities. 55 ton tank cars are in

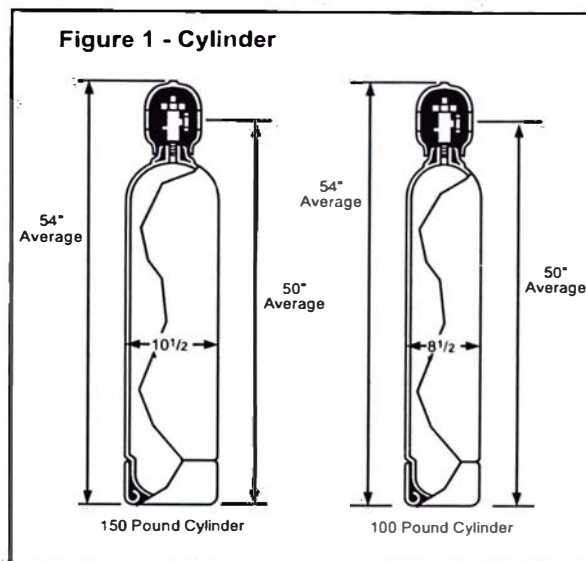
limited use and will be phased out of service after 2002.

All chlorine containers and fittings are of a type approved by The Chlorine Institute, Inc. and must comply with the specifications and regulations of the DOT. Most Repackagers maintain facilities for the inspection, cleaning, testing, and filling of these containers.

Liquid chlorine cylinders are seamless steel construction. Cross-sectional drawings of 100-pound and 150-pound cylinders are shown in Figure 1. Cylinders are fitted with valves in compliance with the specifications and regulations of the DOT and approved by The Chlorine Institute, Inc. The US DOT (or Canadian equivalent) specification number, serial number, identifying symbol, original tare weight, inspector's official mark, and date of hydrostatic is stamped on the metal near the

cylinder neck. Usually the owner's name or symbol is stamped or embossed in the same area. To mar or deface these markings is illegal.

Each cylinder is fitted with a cap to protect the valve mechanism. It must be kept in place whenever the cylinder is not in actual service. A cross-sectional drawing of a chlorine cylinder valve is shown in Figure 2.



Dimensions of Cylinders

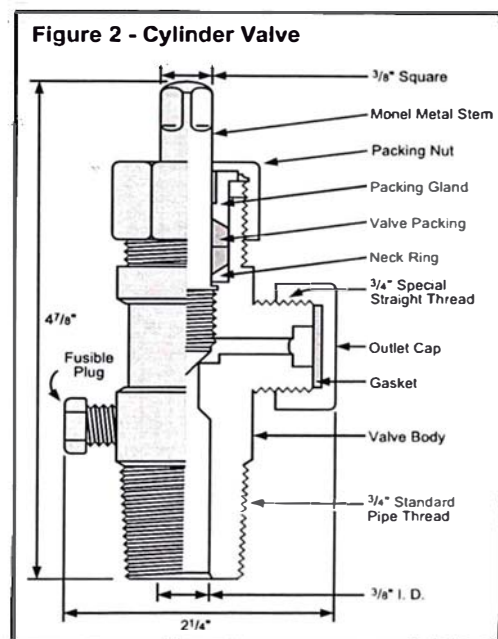
Capacity lbs	Tare Weight lbs	Total Height inches	Outside Diameter inches
100	63 - 115	39.5 - 59"	8.25 - 10.75"
150	85 - 140	53.0 - 56"	10.25 - 10.75"

The outlet threads of a chlorine cylinder valve are not standard pipe threads. For this reason, a special clamp and adapter, as shown in Figure 3, is suggested. The use of the clamp and adapter affords greater convenience for the consumer and protects the cylinder valve from excessive wear.

The chlorine cylinder valve is equipped with a fusible metal plug which is a safety device designed to melt at about 158°F. This safety plug protects the chlorine cylinder against excessive pressure, by melting and allowing the contents of the cylinder to escape when

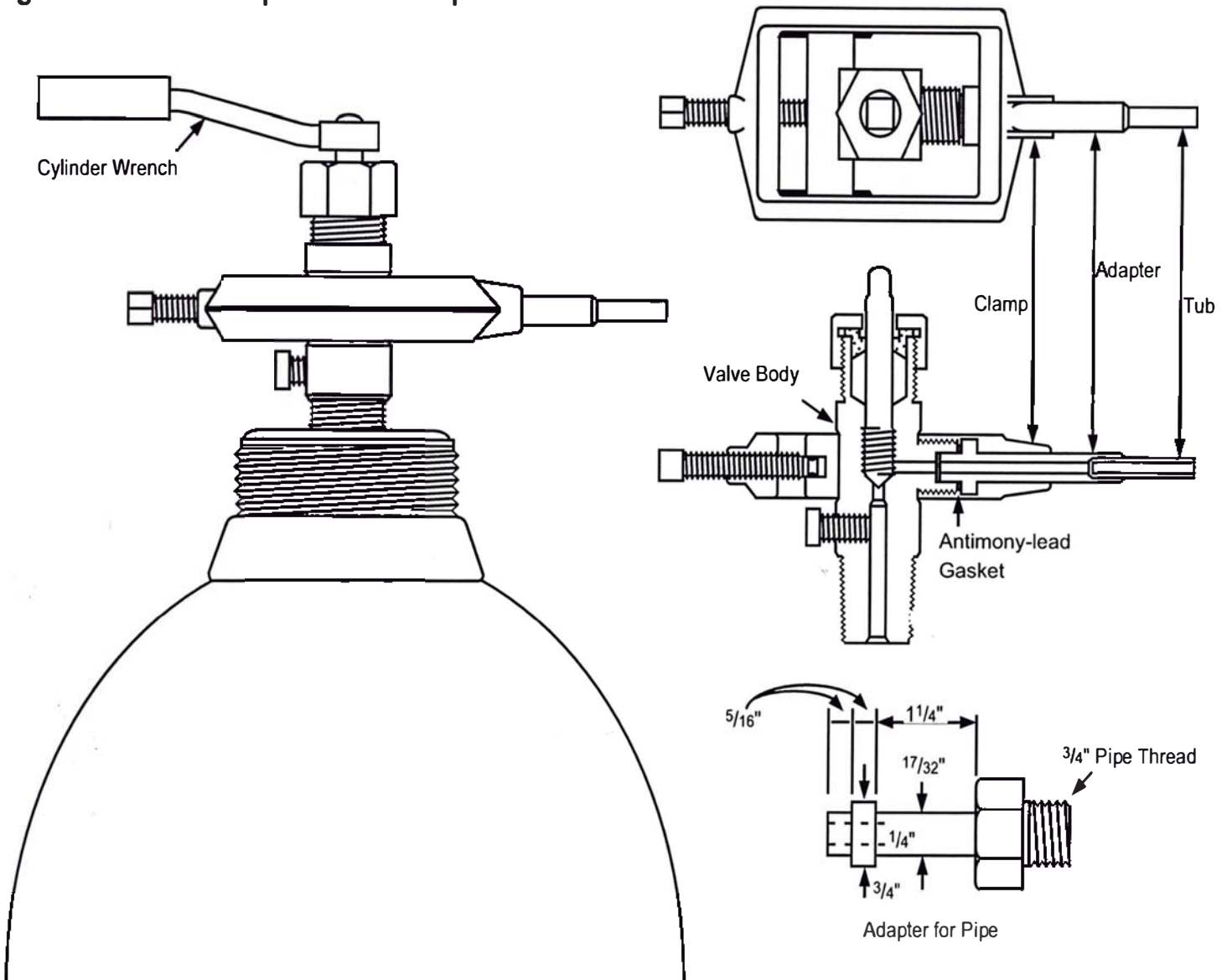
exposed to high temperature. The fusible metal plug is located below the valve seat and cannot be controlled by the valve. The fusible metal plug should not be tampered with under any circumstances.

No wrench other than the one shown in Figure 3 should be used to open or close chlorine cylinder valves. Use of another wrench may damage the valve stem and make the valve difficult to close.



Storage of Cylinders

Figure 3 - Valve Adapter and Clamp



Store cylinders of liquid chlorine in a cool place away from steam pipes or other sources of heat.

Store cylinders, full or empty, with their valve outlet caps and valve protective caps in place.

Store all cylinders of liquid chlorine in a location which is protected from direct sunlight and from dampness.

Do not store cylinders where it is possible for leaking vapors to enter a ventilating system.

Store all cylinders in a vertical position.

Store cylinders so that the oldest shipments of cylinders are used

first. Valve packing may harden with prolonged storage, causing leaks when the cylinders are used.

Storage areas should be kept clean so that accumulated trash does not present a fire hazard.

Handling and Use of Cylinders

It is illegal to ship a leaking chlorine cylinder or a chlorine containing cylinder which has been exposed to fire. Consult your chlorine supplier for advice under such circumstances.

If a chlorine cylinder or its valve is found out of order, notify the distributor from whom the chlorine was purchased, giving the cylinder number and the nature of the damage.

Handle all chlorine cylinders with extreme care. Do not drop cylinders or allow them to strike any object with force. Do not apply heat to chlorine cylinders or their valves.

Operate chlorine cylinder valves only with the wrenches shown in Figure 3. Under no circumstances use a pipe wrench or any wrench longer than six inches. Always use the correct special clamps and adapters as shown in Figure 3.

Use valves, gauges, regulators, and fittings which have been approved for chlorine service. Ordinary devices are not suitable.

The cylinder must be in an upright position to remove chlorine as a gas. If liquid chlorine is to be withdrawn from a cylinder, the cylinder

must be inverted and clamped securely on a rack set at an angle of about 60° to the horizontal.

Use flexible connections between cylinders and piping systems (Figure 4). Copper tubing capable of withstanding pressures up to 400 pounds per square inch is satisfactory for dry chlorine.

Close valves on chlorine cylinders when chlorine is not being withdrawn in order to prevent moist air or foreign substances from entering the cylinder. It is dangerous to allow any chlorine cylinder, which has emptied its contents into water or another liquid, to remain connected with the process line. In such cases liquid could be sucked back into the cylinder causing danger to the operator and damage to the cylinder.

Replace outlet cap and valve protective cap as soon as the cylinder is disconnected.

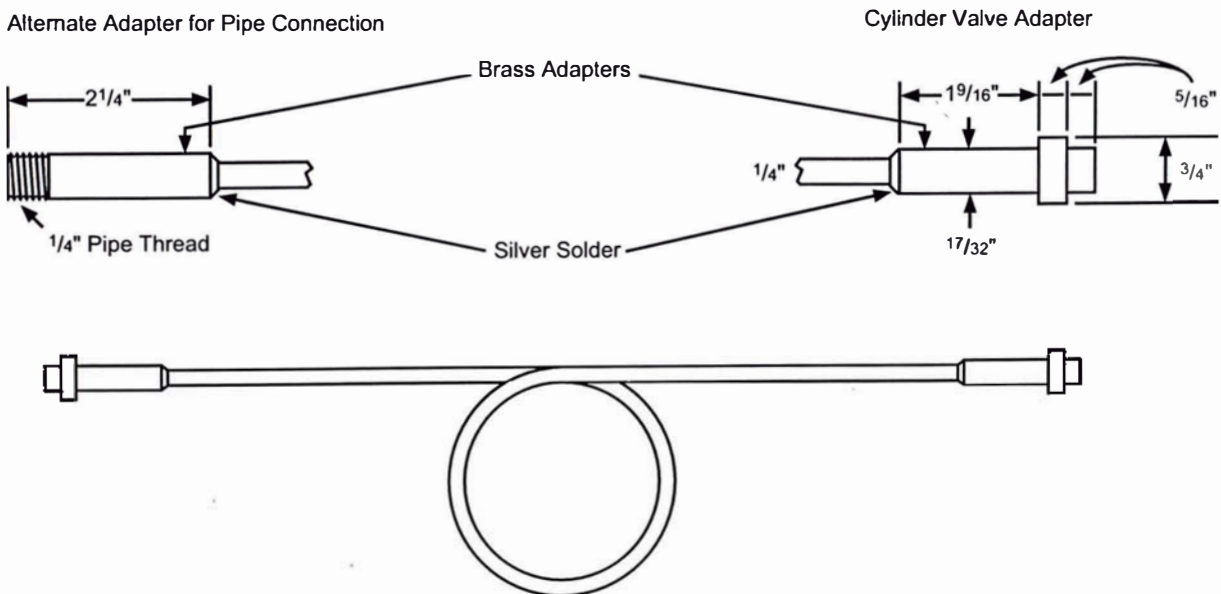
Do not alter or repair chlorine cylinders or their valves.

Leaks around the valve stem are usually corrected by tightening the packing nut in a clockwise direction. All threads on all chlorine valves are right-hand threads.

Provide suitable hand trucks for moving cylinders. These should be properly balanced and have a clamp support at least two-thirds of the way up the cylinder. If chlorine cylinders are to be lifted, provide a suitable sling. Do not use a chain, rope, or magnetic device. Do not lift cylinders by their valve protective caps because they are not designed for this purpose.

To monitor the consumption of chlorine at any given time, place the cylinder on a scale. The difference in weight between measurements will equal the quantity consumed.

Figure 4 - Flexible Tubing Connector for Ton Containers and Cylinders



Ton Containers

The ton containers for liquid chlorine are constructed of steel. Like the cylinders, they are fitted with valves approved by The Chlorine Institute, Inc. and in compliance with the specifications and regulations of the DOT.

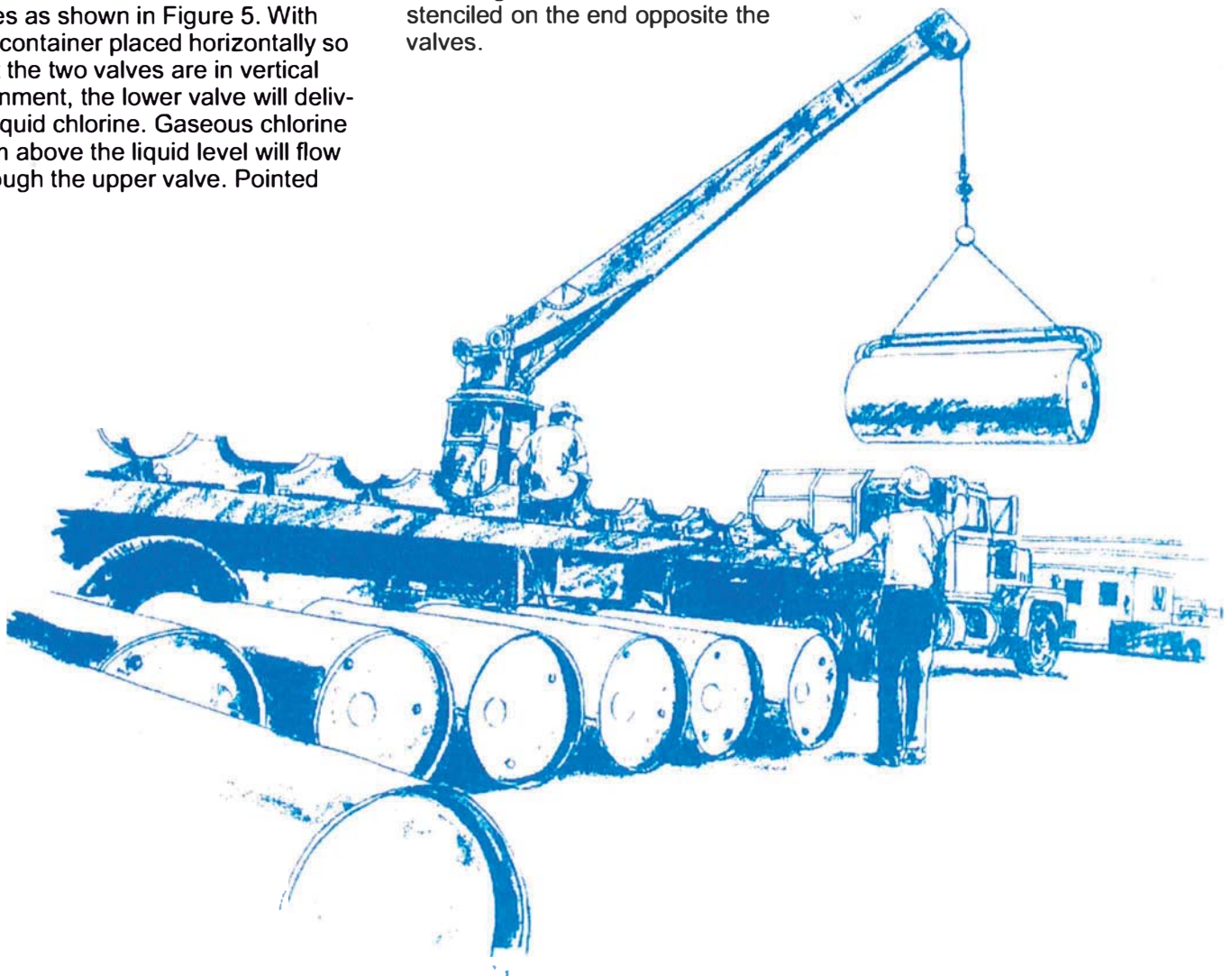
The average ton container (Figure 5) is about 30 inches in outside diameter and about 82 inches in length. Average tare weight is about 1500 pounds, average gross weight is about 3500 pounds, leaving 2000 pounds net weight.

Each end of a ton container is concave. The sides are crimped inward over the ends to form chimes that provide suitable grips for hooks used in handling. Each container is equipped with two valves, both of which are located at the same end, near the center. The valves are connected to education pipes as shown in Figure 5. With the container placed horizontally so that the two valves are in vertical alignment, the lower valve will deliver liquid chlorine. Gaseous chlorine from above the liquid level will flow through the upper valve. Pointed

arrows on the valve end of a ton container indicate the position of the two valves. These arrows are visible when the protective bonnet is in place, allowing proper positioning of a ton container before removing the bonnet. There are six fusible metal plugs in each ton container, three on each end. The fusible metal in these plugs melts at about 158°F. The melting plug prevents build up of excessive pressure when exposed to high temperature. The fusible metal plugs should not be tampered with under any circumstances. The container number, dates of hydrostatic tests, and water capacity are stamped in the metal of an unpainted portion of the chime at the valve end of each ton container. To mar or deface these markings is illegal. The tare weight of each ton container is stenciled on the end opposite the valves.

The ton container valve is the same as the cylinder valve except that it has a larger discharge port and no fusible metal plug. A cross section of the ton container valve is shown in Figure 6. The outlet threads of a ton container valve are not standard pipe threads. For that reason, a special clamp and adapter shown in Figure 3, are suggested.

The use of the clamp and adapter affords greater convenience for the consumer and protects the ton container valve from excessive wear.



Storage of Ton Containers

Only the wrench shown in Figure 3 is to be used to open or close a ton container valve. Clamps, adapters, and valve wrenches are available from your chlorine distributor.

A suitable hoist equipped with a lifting beam as shown in Figure 7 is required to remove or replace the containers.

Storage

Store ton containers of liquid chlorine in a cool place, away from steam pipes or other sources of heat.

Store all ton containers, full or empty, with their valve outlet caps and valve protective bonnets in place.

Store all ton containers of liquid chlorine in a location which is protected from direct sunlight and from dampness.

Do not store ton containers of liquid chlorine near flammable materials.

Store ton containers where it is not possible for leaking vapors to enter a ventilating system.

Store ton containers in a horizontal position on a level rack. Keep them on the same level. Do not stack ton cylinders to avoid the possibility of the one at the bottom developing a leak and being difficult to remove.

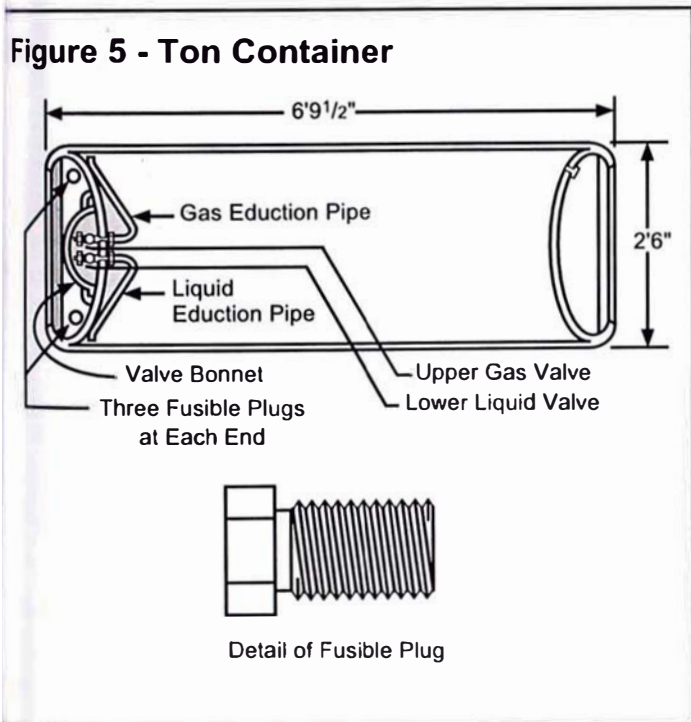


Figure 6 - Ton Container Valve

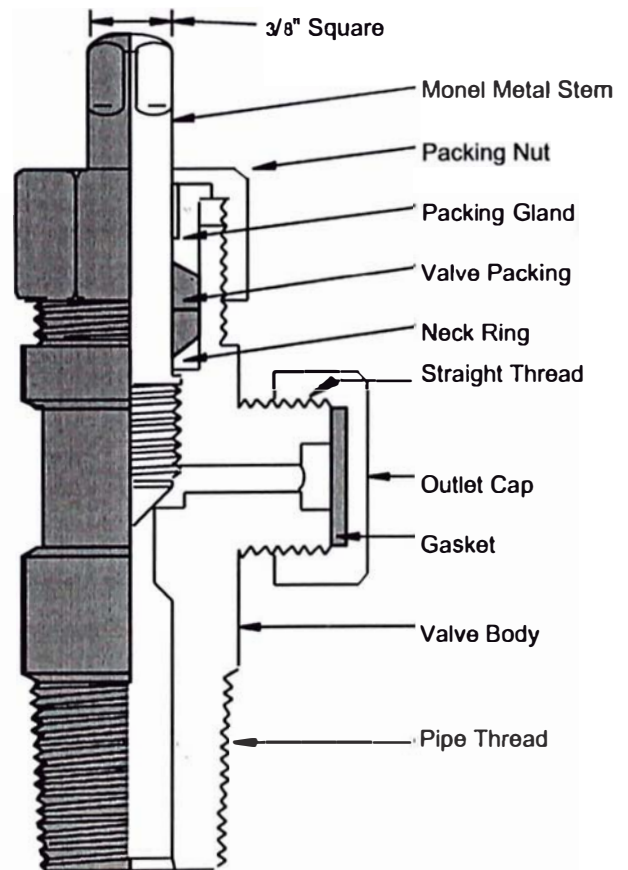
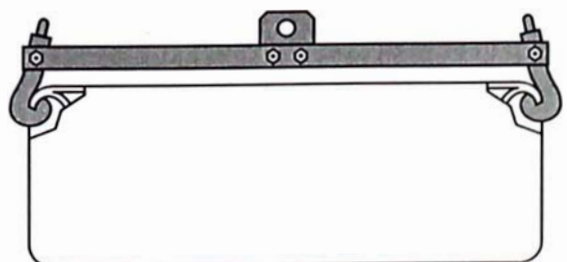


Figure 7 - Ton Container Lifting Beam



Handling and Use of Ton Containers

Shipping a leaking chlorine container or one, partially or fully loaded, which has been exposed to fire is illegal. Consult your distributor for advice under such circumstances.

If a ton container or its valves are found out of order, notify the distributor from whom the chlorine was purchased, giving the container number and nature of the damage.

Handle all chlorine ton containers with extreme care. Do not drop ton containers or allow them to strike any object with force. Do not apply heat to ton containers or their valves.

Ton container valves should be operated only with wrenches as shown in Figure 3. Under no circumstances use a pipe wrench or any wrench longer than six inches. Always use special clamps and adapters. (See Figure 3.)

Use valves, gauges, regulators, and fittings which have been approved for chlorine service. Ordinary devices are not suitable.

Use flexible connections between ton containers and piping systems. (See Figure 4.) Copper tubing capable of withstanding pressures of 400 pounds per square inch is satisfactory for dry chlorine. A typical installation is shown in Figure 8.

Use the lower valve to withdraw liquid chlorine and the upper valve to remove chlorine gas.

Close valves on ton containers when chlorine is not being withdrawn to prevent moist air or foreign substances from entering the container. It is dangerous to allow any chlorine container, which has emptied its contents into water or other liquid, to remain connected with the process line. In such cases, liquid could be sucked back into the container causing danger to the operator and damage to the container.

Replace outlet caps and valve protective bonnets as soon as the containers are disconnected.

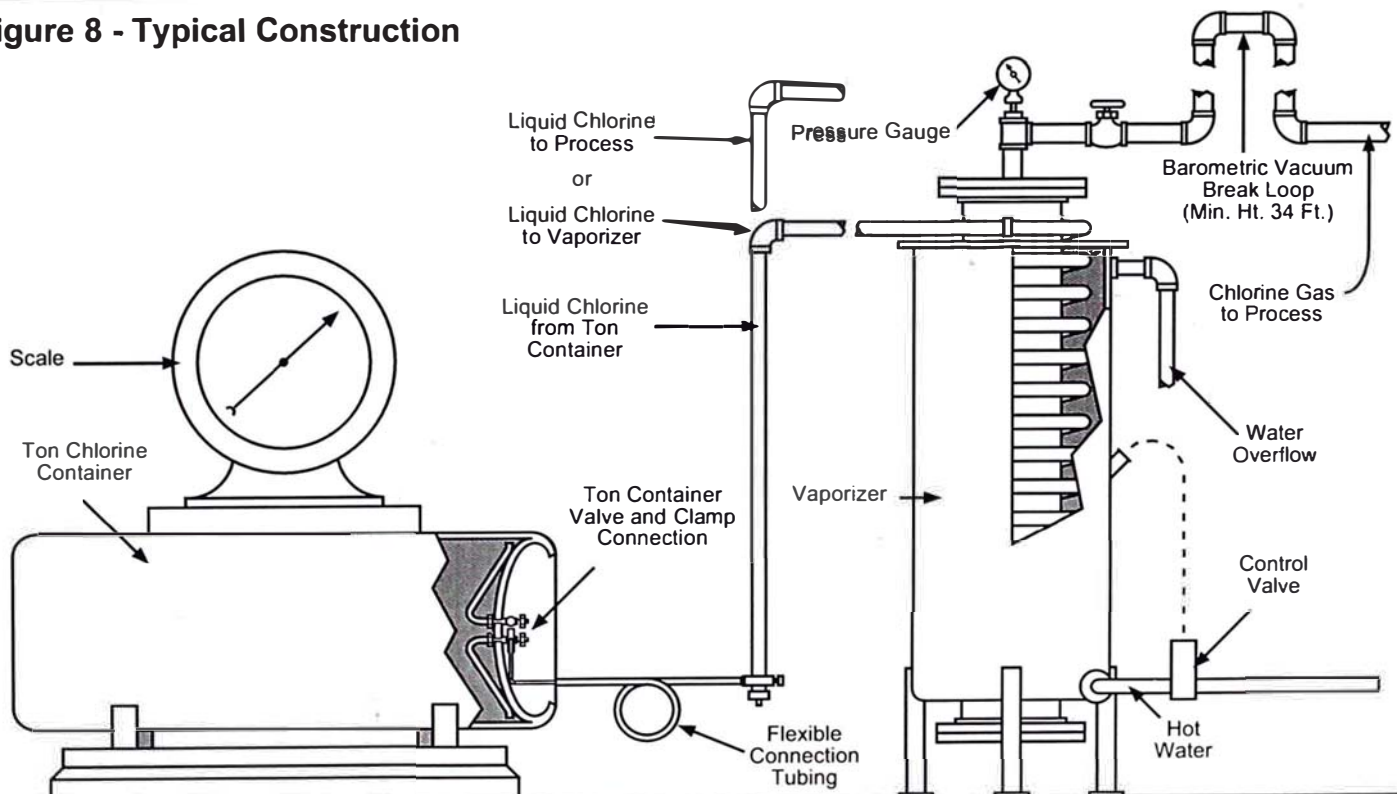
Always have an attendant present when chlorine is being withdrawn from a ton container.

Do not alter or repair ton containers or their valves.

Leaks around the valve stem usually can be corrected by tightening the packing nut in a clockwise direction. All threads on all chlorine valves are right-hand threads.

Place a ton container on a scale as its contents are removed to determine the quantity of chlorine in the container at any time.

Figure 8 - Typical Construction



OxyChem's large fleet of tank cars comply with all specifications and regulations of the DOT. Liquid chlorine is supplied in tank cars with capacities of 55 tons and 90 tons.

The tank of most tank cars is of fusion welded steel construction, built according to DOT specifications 105A300W and 105A500W. The tank is provided with a thick covering of insulating material which in turn is protected by a steel jacket. The only opening in the tank is in the dome which contains all of the valves on the tank. (See Figures 9 and 10.)

The two angle valves parallel to the length of the tank car deliver liquid chlorine. The liquid valves are connected to education pipes which are equipped with excess-flow valves. The excess-flow valves are designed to stop the flow of liquid chlorine if the delivery rate exceeds 7,000 pounds/hour for a 55 ton capacity car or 15,000 pounds/hour for a 90 ton car. The angle valve must be fully opened to allow the excess-flow valve to function in case of a ruptured delivery line. (See Figure 11.)

The two angle valves at right angles to the longitudinal axis of the tank car will deliver gaseous chlorine or they can be used to apply dry air or nitrogen padding.

Average Dimensions of Tank Cars

Capacity Tons	Length (between striking plates)	Height (to valve connection)	Overall Height	Overall Width
55	42'8"	12'9"	14'6"	10'2"
90	45'8"	13'6"	14'10"	10'6"

The safety valve is located at the center of the dome, (Figure 9, Valve Number 5). On DOT 105A300W tanks, it is designed to initially relieve at a pressure of 225 psig. Following the initial relief, the valve functions as a regular spring loaded valve set at 213 psig. On a 105A500W tank, the safety valve is designed to initially relieve at a pressure of 375 psig and then it operates as a regular spring loaded valve set to discharge at 360 psig. Safety valves on chlorine tank cars must never be disturbed or tampered with under any circumstances.

The outlet of each angle valve on a tank car has one-inch standard tapered female pipe threads. This outlet is protected by a one-inch pipe plug which must be kept in place whenever the valve is not in use.

Each time a tank car is returned to OxyChem, it is subjected to a rigorous inspection. Any damaged tank car is immediately removed from service until such time as repairs can be made.

When the angle valves are removed, they are dismantled, completely reconditioned, and subjected to a static test at a pressure far greater than a normal working pressure. The excess-flow valves are inspected and cleaned at the same time. Safety valves are removed, reconditioned, and tested every two years.

Figure 9 - Standard Arrangement of Valves on Single Unit Tank Car

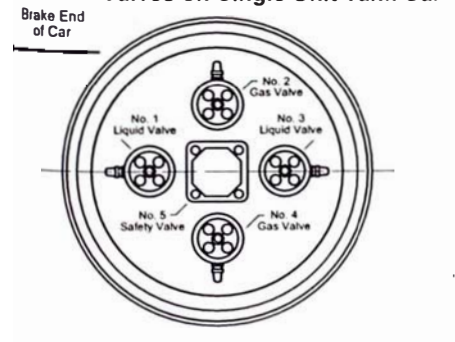
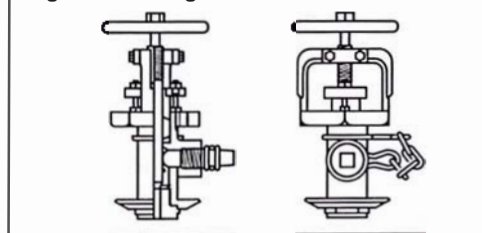
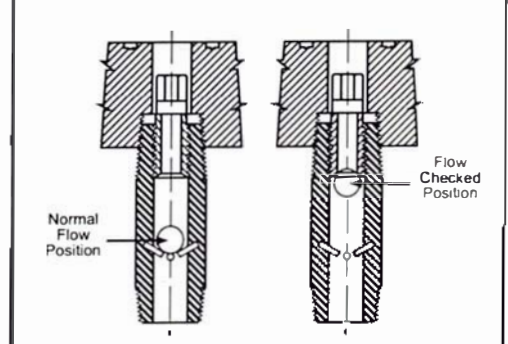


Figure 10 - Single-Unit Tank Car Valve



Note: Figures 9 and 10 show typical installation for the ACF angle valve.

Figure 11 - Excess Flow Valve with Removable Seat



Handling and Use of Tank Cars

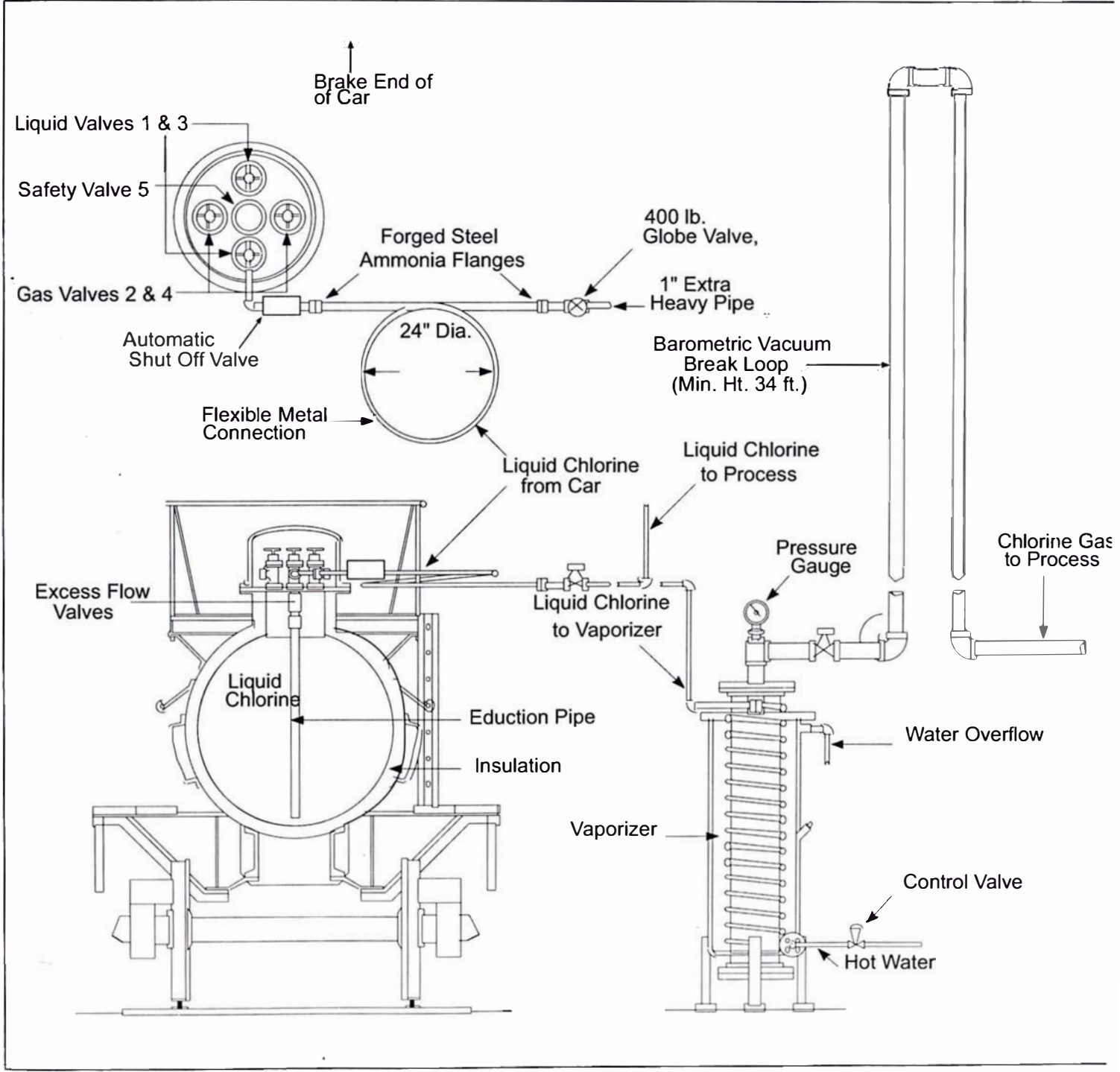
Single-unit tank cars must be unloaded only on the consumer's protected private track.

When a tank car of chlorine is placed on a private siding for

unloading, the brakes must be set and the wheels blocked. The following precautions are required by DOT Hazardous Materials Regulation, CFR Title 49, Paragraph

174.67, governing the transportation of hazardous materials: "Caution" signs must be placed in such a position on the track or car to warn persons approaching the car from

Figure 12 - Typical Installation



Handling and Use of Tank Cars

The open end or ends of the siding and must be left up until after the car is unloaded and disconnected from the discharge connection.

Signs must be of metal, at least 12 by 15 inches in size and bear the words "STOP—Tank Car Connected" or "STOP—Men at Work." The word "STOP" must be in letters at least 4 inches high and the other words in letters at least 2 inches high. The letters must be white on a blue background.

Tank cars must be protected by a derail at the switch end or ends of a siding.

Shipping a leaking or defective tank car containing any chlorine is illegal. If a tank car is defective, call your supplier. OxyChem's 24 hour emergency number is 800/733-1665.

Use a flexible metal connection for unloading chlorine as outlined in The Chlorine Institute, Inc. Pamphlet No. 6, DWG No. 118. A typical installation is shown in the diagram in Figure 12.

Opening a liquid chlorine valve too rapidly could cause the excess-flow valve to function and stop the flow of liquid chlorine. The excess-flow valve can be unchecked by closing the chlorine valve completely and waiting until a noticeable click is heard, indicating that the metal ball has fallen back into place.

In many chlorine handling systems, additional pressure is necessary for unloading at a normal or accelerated rate. Under these conditions, dry air (dew point of -40°F) must be used.* A separate plant air

drying system is needed for this operation.

Safe padding pressure limits are defined by the setting of the pressure relief valve and the temperature of the liquid chlorine. Padding pressure limits for chlorine tank cars can be found in the The Chlorine Institute, Inc., Drawing # 201.

For additional information on the handling and use of tank cars refer to The Chlorine Institute, Inc., Pamphlet # 66.

* Dry nitrogen may also be used in most cases.

Cargo Tank Trucks

DOT issued CFR Title 49, gives the MC331 specification for cargo tank trucks authorized for chlorine use in the United States and Canada.

Chlorine cargo tank trucks meeting DOT Specification MC331 or MC330 have an approximate capacity of 15 to 20 tons. The only opening in a chlorine cargo tank truck is in the dome which contains all of the required valves. The two angle valves parallel to the length of the tank will deliver liquid chlorine. The liquid valves are connected to eduction pipes which are equipped with excess-flow valves. The excess-flow valves are designed to stop the flow of liquid chlorine if the delivery rate exceeds 7,000 pounds per hour.

The two angle valves at right angles to the longitudinal axis of the tank will deliver gaseous chlorine. They are also equipped with excess-flow valves, but of a different design.

The outlet of each angle valve on a chlorine cargo tank truck has one-inch standard tapered female pipe threads. This outlet is protected by a one-inch pipe plug which should be kept in place whenever the valve is not in use.

The safety valve is located at the center of the dome, between the angle valves. It is designed to initially relieve at a pressure of 225 psig. Subsequent to relief, the valve functions as a regular spring loaded valve set at 213 psig.

Handling and Use of Chlorine Cargo Tank Trucks

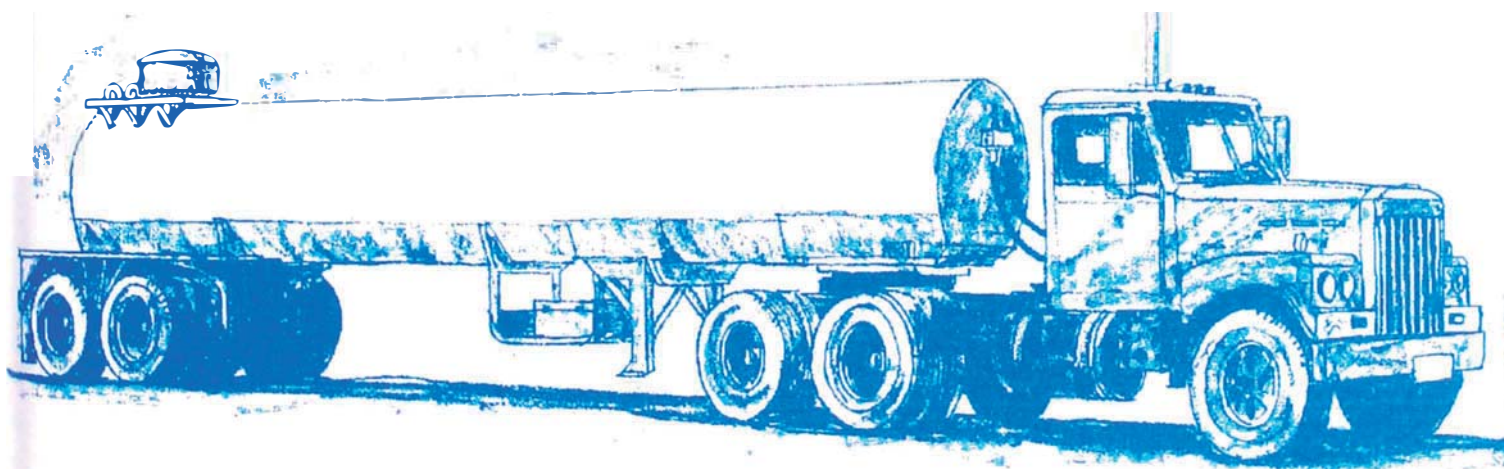
In general, chlorine can be shipped in cargo tank trucks only if the contents are to be unloaded at one unloading point. For this reason, Occidental Chemical will assist in any individual study or evaluation to determine if tank truck shipments of chlorine are feasible.

Tank Truck Unloading—Air Padding

In many chlorine handling systems, additional pressure is necessary for unloading at a normal or accelerated rate. Under these conditions, dry air (dew point of -40°F) must be used.* A separate plant air drying system is needed for this operation.

For additional information on chlorine tank motor vehicles, refer to The Chlorine Institute, Inc. Pamphlet No. 49.

* Dry nitrogen may also be used in most cases.



In general, pipelines for handling chlorine should be fabricated from extra-heavy, black-iron pipe. Joints must be welded or flanged. Fittings must be eliminated wherever possible.

Valves for chlorine service should be constructed of forged steel. Packing for these valves should be either PTFE or flexible graphite. For additional information on valves for chlorine service please consult The Chlorine Institute, Inc., Pamphlet # 6.

The use of valves in pipelines must balance minimizing accidental release and reducing fugitive emissions. Liquid chlorine has a high coefficient of thermal expansion. If liquid chlorine is trapped between two valves, high pressure may develop and lead to a rupture of the line or its fittings. Expansion chambers, installed at the highest point in the section may be needed. Expansion chambers are fabricated from extra-heavy pipe and have a capacity equal to at least 20 volume percent of the protected section of pipe.

For more information on piping systems, consult The Chlorine Institute, Inc., Pamphlets # 6 and 60.

Chlorine Vaporizer

When large amounts of gaseous chlorine are required for a specific process, it is advisable to remove the chlorine from the manufacturer's container as a liquid and pass it through a vaporizer to convert it to a gas. In this manner much more gaseous chlorine can be sent to process than would otherwise be possible. Rapid removal of gaseous chlorine from a container will cool the remaining liquid chlorine to a point where no chlorine vapor will flow into the process. The use of a vaporizer supplies sufficient heat to the liquid chlorine from an outside source so that the temperature of the chlorine supply remains relatively constant. Figure 8 shows a typical installation using a vaporizer to obtain gaseous chlorine from a ton container. Figure 12 shows a typical installation using a vaporizer to obtain gaseous chlorine from a single-unit tank car.

For more information on Chlorine Vaporizers, consult The Chlorine Institute, Inc. Pamphlet No. 9.

Pressure Drop in Liquid Chlorine Lines

Any liquid passing through a pipeline suffers a loss in pressure due to the resistance to flow offered by the pipeline. A further loss in pressure or head is experienced when the liquid is elevated. For every foot in elevation that liquid chlorine is raised, there is a loss in pressure of about 0.635 psi which should be added to the pressure losses due to the resistance of the piping.

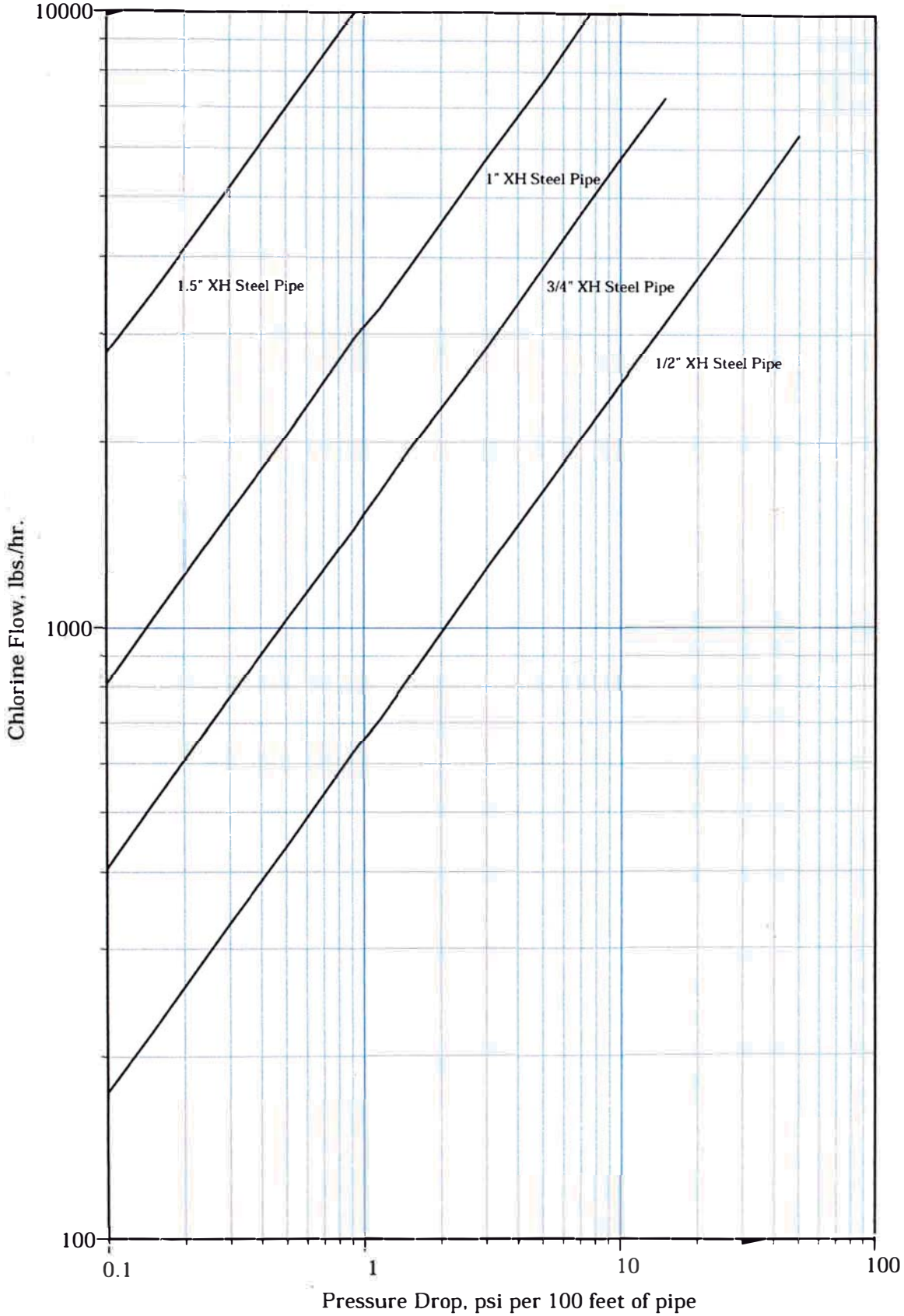
The graph on page 16 shows the calculated pressure drop for liquid chlorine flowing through SCH 80 pipe of various dimensions. When valves and fittings are included in the piping system the additional pressure loss can be readily computed by converting the friction loss in the valves and fittings to equivalent lengths of straight pipe. The data below are taken from Crane Company Technical Paper No. 409.

Equivalent Length of Pipe in Feet

Fitting	1"	3/4"	1/2"
Globe Valve (full open)	28.3	21.3	14.2
Angle Valve (full open)	12.0	9.0	6.0
Standard T (through the branch)	4.8	3.6	2.7
Long Radius Ell	1.6	1.2	0.9

Technical Data

Pressure Drop for Liquid Chlorine Flowing in New Steel Pipe



Safety and Emergency Information

17 of 32

All personnel engaged in handling chlorine must be thoroughly instructed in the necessary precautions for the safe handling, storage, and use of chlorine. Carefully study everything in this manual.

Read the MSDS before use.

Chlorine is a chemical element. Neither the gas nor the liquid alone is explosive or flammable. Both react chemically with many substances, especially at elevated temperatures. The gas is greenish-yellow in color at high concentrations. It has a penetrating odor, and is two-and-one-half times as heavy as air. If it escapes from a container or system, it will seek the lowest level in the building or area in which the leak occurs. Training should include the use of safety equipment and first aid procedures.

EMPLOYEE PROTECTION

Do not breathe chlorine vapors. Chlorine irritates the mucous membranes, respiratory tract, and eyes. Smoking can aggravate the respiratory symptoms which result from chlorine exposure. Prolonged exposure to the gas causes coughing, gagging, and may result in pulmonary edema and death. Individuals with respiratory problems should consult a physician before working with chlorine.

Avoid contact with eyes, skin, and clothing. Gaseous chlorine hydrolyzes in the presence of moisture, forming hydrochloric acid, which irritates the eyes and skin. Liquid chlorine removes body heat, freezing exposed skin.

Wash thoroughly after handling chlorine. Shower, using plenty of soap and water.

Safety Equipment

Use goggles, rubber gloves, rubber shoes, hard hat, and a NIOSH approved respirator with an acid gas cartridge where airborne concentrations are expected to exceed exposure limits or when symptoms have been observed that are indicative of overexposure. It is essential that each individual who may be exposed to chlorine carry, at all times, a respirator approved for

chlorine use. For re-entry into an emergency area, self-contained breathing equipment must be used.

EQUIPMENT & EMERGENCY PROCEDURES

Ventilation

Provide adequate ventilation to reduce the accumulation of liquid or gaseous chlorine in low areas. In some cases, natural ventilation may be adequate; in others, artificial ventilation, such as forced air through a system of ducts, must be provided. A one to four minute rate of air change is required in an emergency. Precautions must be taken to avoid discharging chlorine into areas where it can cause damage or personal injury.

Eye Wash Fountains and Deluge Showers

Readily accessible eye wash fountains and deluge showers must be provided in strategic locations wherever chlorine is used. Personnel should test equipment each day before beginning work to ensure adequate water flow.

Emergency Respiratory Protection

Severe exposure to chlorine may occur wherever chlorine is handled or used. Therefore, self-contained positive pressure breathing apparatus, approved for emergency chlorine use, should be located strategically outside chlorine work areas near entrances and away from contamination. Such equipment shall have a rating of at least 30 minutes use, and be equipped with a low pressure warning bell. Any person entering a chlorine emergency area must be protected by this respiratory protective equipment.

Emergency Kits

In an emergency involving chlorine cylinders, ton containers, tank cars, or barges, kits are available which can be used to stop leaks. Chlorine emergency kits are maintained by producers and are located strategically throughout the United States and Canada. In addition, kits are available from other chlorine

users and distributors, and the location of these kits can be found in The Chlorine Institute, Inc. Pamphlet No. 35, "Location of Chlorine Emergency Kits." Obtain a copy and note the nearest source, or purchase kit(s) from an approved supplier.

OTHER EMERGENCY MEASURES

The Chlorine Institute, Inc. was formed over 50 years ago by chlorine producers to promote the safe use of chlorine and to standardize chlorine handling equipment. The Institute also sponsors a mutual assistance program in which trained teams respond to chlorine emergencies on a 24-hour-a-day, 7-day-a-week basis. In the United States, this response program is known as CHLOREP (Chlorine Emergency Plan). The United States is divided into 32 sectors with CHLOREP teams available from 49 plant sites (one to three plant sites in each sector).

CHLOREP is now affiliated with CHEMTREC (The Chemical Transportation Emergency Center) maintained by the Chemical Manufacturers Association (CMA) in Washington, D.C. Assistance can be summoned by calling either CHEMTREC (Toll free 1-800-424-9300) or the appropriate CHLOREP team.

Canada is divided into ten regions with teams available from 13 plant



Safety and Emergency Information

as established by TEAP (Transportation Emergency Assistance Plan) of the Canadian Chemical Producers' Association. In Canada, assistance is available by calling either the TEAP regional number or the appropriate response team.

In both the United States and Canada, these teams provide assistance in any chlorine emergency whether a transportation incident or problem at the point of usage. Chlorine users must have the telephone number of their response team(s) readily available for use in chlorine emergency situations.

Chlorine users must accept responsibility for taking all proper precautions to prevent accidents with chlorine. The fact that emergency assistance is available should not encourage carelessness in the use of this chemical.

HANDLING AND STORAGE

Store cylinders and ton containers in a dry, ventilated, fire resistant area separate from metals, organic, or inorganic chemicals. All valves must be kept tightly closed until

containers are connected for unloading. Protect from heat and direct sunlight.

In Case of Fire

Chlorine itself will not burn, but it does act as an oxidizer and supports combustion, even in the absence of oxygen. Cool the affected containers with large amounts of water. Use any other extinguishing medium appropriate for the surrounding fire. All fires liberate toxic gases. Use self-contained breathing apparatus and full protective equipment.

Leaks

Do not apply water directly on a chlorine leak. Moisture hydrolyzes chlorine, forming hydrochloric acid which attacks the metal, thus enlarging the leak. If a container is leaking chlorine, position the container so that gas escapes instead of liquid. The quantity of escaping chlorine is significantly less from a gas leak than a liquid leak, since one volume of liquid is equal to about 460 volumes of gas. Evacuate the area and keep all personnel

upwind of leaks, preferably on high ground. Secure self-contained breathing apparatus. Shut chlorine supply off at source.

Water Disposal

Absorb chlorine in an alkaline solution (caustic soda, soda ash, or hydrated lime) while maintaining an excess of base at all times (see below).^{*} Destroy resulting hypochlorite by adding sodium sulfite or treating the basic hypochlorite at 122°-158°F (50°-70°C) in the presence of copper, nickel, or iron. Control pH at the discharge to sewer or the receiving water and comply with all applicable federal, state, and local regulations.

Recommended Alkaline Solutions for Absorbing Chlorine

Size of Chlorine Container (Pounds Net)	100% Caustic Soda		100% Soda Ash		100% Hydrated Lime	
	Pounds	Water (gallons)	Pounds	Water (gallons)	Pounds	Water (gallons)
100	125	60	300	200	115	125
150	188	90	450	300	175	188
2000	2500	1200	5980	4000	2325	2500

^{*} Slurry must be continuously and vigorously agitated if chlorine is to be absorbed 100%.

Safety and Emergency Information

19 of 32

FIRST AID

Exposure Symptoms

Liquid chlorine is a skin and eye irritant. Prolonged contact produces burns. Liquid chlorine slowly vaporizes to gas in the open atmosphere. At detectable odor levels, the gas will irritate the mucous membranes and respiratory tract. (Detectable odor levels range from 0.3 to 3.0 ppm depending on the individual.) With excessive exposure to chlorine, the individual exhibits excitement, accompanied by restlessness, sneezing, and copious salivation. In extreme cases, retching, pulmonary edema, and even death may occur.

There are no specific known antidotes for chlorine. Effective medical management is necessary for relief of symptoms with proper treatment. Complete recovery normally occurs.

Inhalation

If chlorine is inhaled, move the individual to fresh air. If breathing is difficult, have a trained person administer oxygen. If respiration stops, have a trained person administer artificial respiration.

Treatment for inhalation must precede first aid given to other body areas affected by exposure to chlorine.

Skin

In case of contact, immediately remove the contaminated clothing and shoes. Flush skin with plenty of water. Never attempt to neutralize the chlorine with chemicals. Salves and ointments should not be applied unless directed by a physician. Wash clothing before re-use. Discard contaminated nonrubber shoes. GET MEDICAL ATTENTION IMMEDIATELY

Eyes

In case of eye contact, immediately flush eyes with a directed stream of water (low pressure-high volume) for 15 minutes. Forcibly hold eyelids apart to ensure complete irrigation of all eye and lid tissues. An eye wash fountain is ideal for this type of treatment. GET MEDICAL ATTENTION IMMEDIATELY

Ingestion

Due to its physical properties, swallowing liquid chlorine is extremely unlikely. In such an instance, call a physician immediately.

Notes to Physician

Because there is no known antidote for chlorine gas inhalation, treatment is symptomatic. The effective and immediate relief of symptoms is the primary goal. Steroid therapy, if given early, has been reported effective in preventing pulmonary edema.

EMPLOYEE TRAINING FOR SAFE OPERATIONS

Safety in handling chlorine depends, to a great extent, upon the effectiveness of employee education, proper safety instructions, effective supervision, and the use of proper personal protective equipment.

Supervisory personnel are responsible for providing proper instruction and training of employees. Training for all employees should be conducted periodically, to reinforce correct methods and to maintain a high degree of competence in handling procedures. All new employees must be trained in handling and using chlorine before operating equipment. Employees should be thoroughly familiar with the hazards that may result from improper handling of chlorine. Each employee should know emergency and first aid measures, and how to use associated equipment.

As a minimum, employee training should include the following:

- A) Instruction with periodic drills regarding the locations, purpose, limitations, and use of chlorine emergency kits, fire fighting equipment, fire alarms, and shutdown equipment such as valves and switches.
- B) Instruction with periodic drills regarding the locations, purpose, limitations, and use of personal protective equipment, both normal and emergency.
- C) Instruction with periodic drills regarding the locations, purpose, and use of safety showers, eye baths, or the closest source of water for use in emergencies.

- D) Instruction with periodic drills for specified employees on each work shift/period regarding the locations, purpose, and use of emergency respiratory protection and first aid equipment.
- E) Instruction on avoiding inhalation of chlorine gas and contact with the liquid. Emphasis should be placed on chlorine's effect on the human body at different exposure levels.
- F) Instruction on procedures for reporting all equipment failures to the proper authority.
- G) Instruction on procedures for conducting inspections before working with equipment, and periodically during operations. This instruction should include procedures for recognizing leaks and other potential problems.
- H) Instruction on the proper actions to take when leaks occur and on procedures for evacuating affected areas.

Technical Data

Physical Properties of Chlorine

Atomic weight: 35.453
 Boiling point: -34.05°C (-29.29°F)
 Freezing point: -100.98°C (-149.76°F)
 Critical temperature: 144.0°C (291.2°F)
 Critical pressure: 7711 kPa (76.1 atm, 1118 psi)
 Critical volume: $1.745 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$ (0.02796 cu ft/lb)
 Heat of fusion at the melting point: $6405 \pm 5 \text{ J/mol}$
 (38.86 Btu/lb)

Viscosity of Chlorine Gas at 1 Atm

°C	cp.
-30	0.0112
0	0.0126
100	0.0169
200	0.021
300	0.025

Thermal Conductivity of Chlorine Gas at 1 Atm

°C	Btu/(hr-ft-°F)
-30	0.0042
0	0.0048
100	0.0067
200	0.0086
300	0.0103

Thermal Conductivity of Liquid Chlorine

°C	Btu/(hr-ft-°F)
-100	0.1149
0	0.0847
100	0.0532
144	0.0230

Conversion of Units

Physical Quantity	SI Unit	Conversion
Concentration	kilograms per cubic meter	$1 \text{ kg/m}^3 = 0.008345 \text{ lbs/gal}$
Density	kilograms per cubic meter	$1 \text{ kg/m}^3 = 0.062428 \text{ lbs/cu ft}$
Energy	joules per kilogram	$1 \text{ J/kg} = 0.000430 \text{ Btu/lb}$
Entropy	joules per kilogram-Kelvin	$1 \text{ J/kg-}^\circ\text{K} = 0.000239 \text{ Btu/lb-}^\circ\text{F}$
Pressure	Pascals (Newtons per square meter)	$1 \text{ Pa} = 0.000145 \text{ psi}$
		$1 \text{ Pa} = 9.86923 \times 10^{-6} \text{ atm}$
Surface Tension	joules per square meter	$1 \text{ J/m}^2 = 0.068522 \text{ lb(force)/ft}$
		$1 \text{ J/m}^2 = 1000 \text{ ergs/cm}^2$
Temperature	Kelvin	$^\circ\text{K} = ^\circ\text{C} + 273.15$
		$^\circ\text{C} = (^\circ\text{F} - 32) / 1.8$
Thermal Conductivity	watts per meter-Kelvin	$1 \text{ W/m-}^\circ\text{K} = 0.577797 \text{ Btu/(hr-ft-}^\circ\text{F)}$
Viscosity	Pascal-second	$1 \text{ Pa-s} = 0.671969 \text{ lb/ft-sec}$
		$1 \text{ Pa-s} = 1000 \text{ centipoise}$
Volume	cubic meters per kilogram	$1 \text{ m}^3/\text{kg} = 16.0185 \text{ cu ft/lb}$

Technical Data

Thermodynamic Properties of Saturated Chlorine

(Base: $h = 0, s = 0$ for solid Cl_2 at $0^\circ R$)

Temp (°F)	Absolute Pressure (psi)	Volume (cu ft/lb)		Enthalpy (Btu/lb)			Entropy (Btu/lb-°R)		
		Liquid	Vapor	Liquid	Vaporization	Vapor	Liquid	Vaporization	Vapor
t	p	v _l	v _g	h _l	^h	h _g	s _l	^s	s _g
-130	0.51902	0.0093981	95.993	78.488	137.13	215.57	0.37472	0.41593	0.79065
-120	0.80251	0.0094727	63.930	80.890	135.72	216.61	0.38201	0.39956	0.78158
-110	1.2055	0.0095492	43.776	83.305	134.35	217.65	0.38901	0.38420	0.77322
-100	1.7643	0.0096277	30.738	85.697	133.00	218.69	0.39575	0.36976	0.76551
-90	2.5213	0.0097083	22.081	88.067	131.66	219.73	0.40225	0.35615	0.75840
-80	3.5258	0.0097911	16.193	90.420	130.34	220.76	0.40852	0.34328	0.75181
-70	4.8336	0.0098761	12.101	92.759	129.02	221.78	0.41459	0.33110	0.74570
-60	6.5073	0.0099636	9.1996	95.087	127.71	222.80	0.42048	0.31954	0.74003
-50	8.6157	0.010053	7.1037	97.406	126.40	223.81	0.42620	0.30854	0.73474
-40	11.234	0.010146	5.5642	99.719	125.08	224.80	0.43177	0.29805	0.72982
-30	14.443	0.010242	4.4156	102.02	123.76	225.79	0.43719	0.28802	0.72522
-29.29	14.696	0.010248	4.3457	102.19	123.66	225.86	0.43757	0.28732	0.72490
-20	18.329	0.010340	3.5462	104.33	122.41	226.75	0.44248	0.27842	0.72090
-10	22.984	0.010442	2.8793	106.64	121.05	227.70	0.44765	0.26920	0.71686
0	28.504	0.010547	2.3613	108.95	119.67	228.63	0.45271	0.26033	0.71305
10	34.987	0.010656	1.9544	111.27	118.26	229.53	0.45767	0.25179	0.70946
20	42.538	0.010768	1.6313	113.59	116.82	230.41	0.46252	0.24354	0.70606
30	51.265	0.010885	1.3722	115.92	115.34	231.26	0.46729	0.23555	0.70284
40	61.276	0.011006	1.1625	118.25	113.83	232.09	0.47196	0.22781	0.69978
50	72.684	0.011132	0.99128	120.59	112.28	232.88	0.47656	0.22029	0.69686
60	85.606	0.011263	0.85030	122.95	110.68	233.63	0.48109	0.21297	0.69406
70	100.15	0.011399	0.73335	125.32	109.02	234.35	0.48555	0.20583	0.69138
80	116.45	0.011541	0.63565	127.71	107.31	235.02	0.48994	0.19885	0.68879
90	134.63	0.011690	0.55346	130.11	105.54	235.65	0.49428	0.19200	0.68629
100	154.80	0.011846	0.48388	132.53	103.70	236.23	0.49857	0.18528	0.68385
110	177.09	0.012009	0.42462	134.98	101.78	236.76	0.50281	0.17866	0.68148
120	201.64	0.012181	0.37386	137.45	99.782	237.24	0.50702	0.17213	0.67915
130	228.57	0.012362	0.33014	139.96	97.685	237.65	0.51121	0.16565	0.67686
140	258.03	0.012554	0.29228	142.51	95.483	237.99	0.51537	0.15922	0.67459
150	290.14	0.012758	0.25934	145.09	93.162	238.26	0.51953	0.15280	0.67233
160	325.05	0.012975	0.23052	147.73	90.709	238.44	0.52368	0.14637	0.67006
170	362.91	0.013208	0.20520	150.43	88.105	238.54	0.52786	0.13991	0.66778
180	403.86	0.013458	0.18285	153.20	85.328	238.53	0.53206	0.13339	0.66545
190	448.07	0.013728	0.16301	156.06	82.354	238.41	0.53631	0.12676	0.66307
200	495.68	0.014023	0.14533	159.01	79.150	238.16	0.54063	0.11998	0.66061
210	546.88	0.014348	0.12947	162.07	75.677	237.75	0.54504	0.11300	0.65805
220	601.82	0.014710	0.11518	165.28	71.882	237.16	0.54958	0.10575	0.65534
230	660.70	0.015118	0.10221	168.66	67.696	236.36	0.55428	0.098155	0.65243
240	723.69	0.015587	0.090340	172.25	63.022	235.28	0.55919	0.090072	0.64926
250	790.99	0.016143	0.079352	176.13	57.713	233.84	0.56440	0.081322	0.64573
260	862.81	0.016827	0.069011	180.38	51.528	231.90	0.57004	0.071598	0.64164
270	939.35	0.017729	0.058995	185.19	44.007	229.20	0.57635	0.060310	0.63666
280	1020.8	0.019102	0.048647	191.04	33.987	225.03	0.58393	0.045948	0.62987
290	1107.5	0.022862	0.034207	200.80	14.060	214.86	0.59658	0.018756	0.61534
291.2	1118.37	0.027960	0.027960	207.77	00.000	207.77	0.60582	0.000000	0.60582

REF: Kapoor, R.M.; Martin, J.J., Thermodynamic Properties of Chlorine, Engineering Research Institute, University of Michigan, Ann Arbor, Michigan (1957).

Technical Data

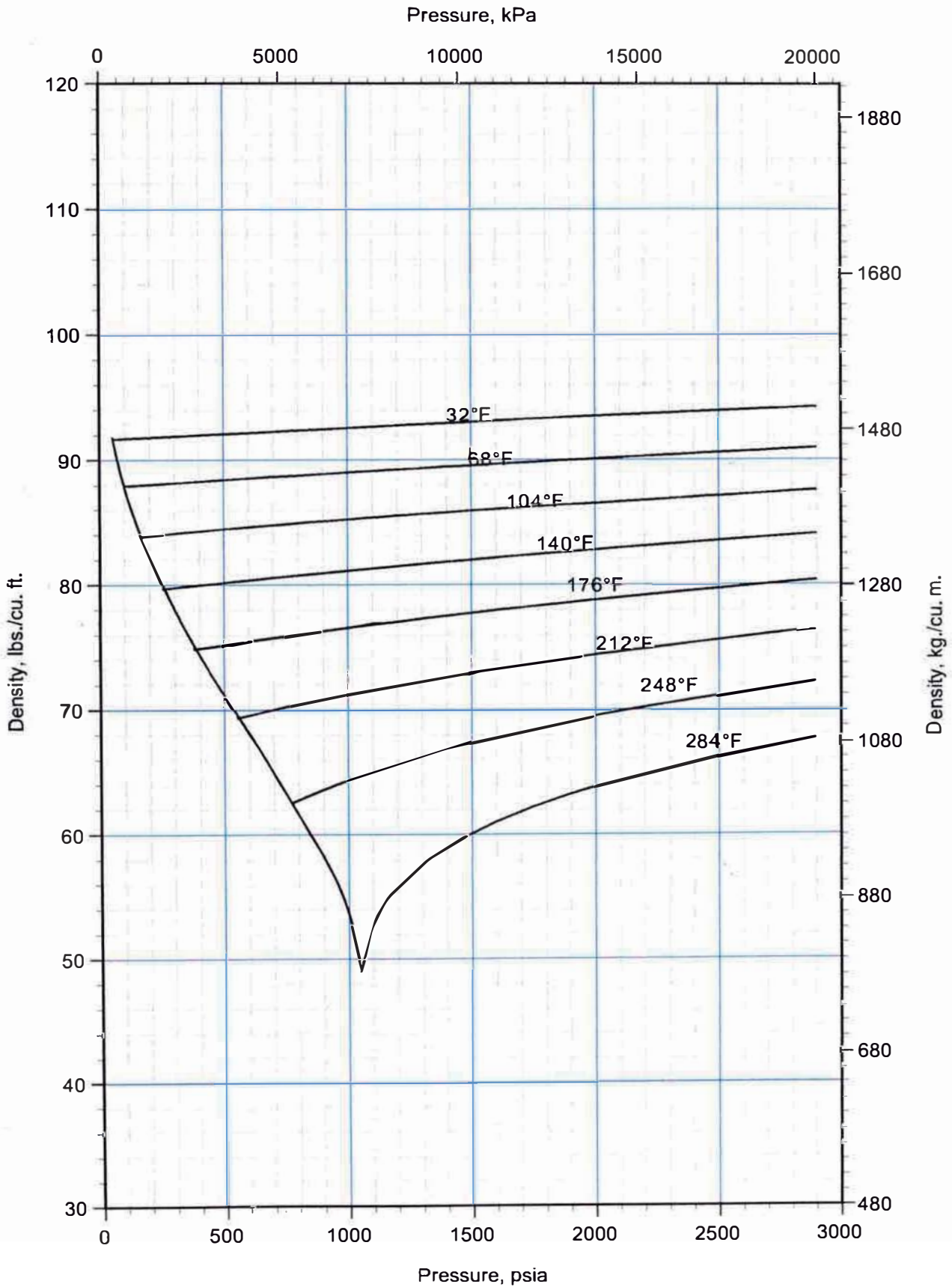
Thermodynamic Properties of Superheated Chlorine

Volume (cu ft/lb); h, enthalpy (Btu/lb); s, entropy (Btu/lb-°R) Figures in parenthesis under the pressures are the saturation temperatures
 Use, h = 0, s = 0 for solid Cl₂ at 0°R

Temp. (°F)	10 psi (-44.4°F)			14.696 psi (-29.3°F)			20 psi (-16.2°F)			25 psi (-6.1°F)		
	v	h	s	v	h	s	v	h	s	v	h	s
0	6.8782	229.30	0.74326	4.6552	229.13	0.73226	3.3996	228.94	0.72338	2.7036	228.76	0.71689
25	7.2623	232.10	0.74919	4.9185	231.94	0.73822	3.5948	231.77	0.72937	2.8610	231.60	0.72291
50	7.6458	234.92	0.75488	5.1812	234.78	0.74392	3.7892	234.61	0.73510	3.0178	234.45	0.72866
75	8.0288	237.77	0.76033	5.4434	237.63	0.74939	3.9832	237.48	0.74058	3.1739	237.33	0.73416
100	8.4113	240.63	0.76556	5.7050	240.51	0.75464	4.1766	240.36	0.74585	3.3296	240.22	0.73945
125	8.7934	243.52	0.77060	5.9663	243.40	0.75969	4.3697	243.26	0.75092	3.4849	243.13	0.74453
150	9.1752	246.42	0.77546	6.2273	246.30	0.76456	4.5624	246.17	0.75580	3.6398	246.05	0.74942
175	9.5567	249.33	0.78015	6.4879	249.23	0.76926	4.7548	249.10	0.76051	3.7944	248.98	0.75414
200	9.9380	252.27	0.78468	6.7483	252.16	0.77380	4.9469	252.05	0.76506	3.9487	251.94	0.75870
225	10.319	255.21	0.78907	7.0084	255.12	0.77819	5.1388	255.00	0.76946	4.1028	254.90	0.76311
250	10.699	258.17	0.79331	7.2684	258.08	0.78245	5.3305	257.97	0.77372	4.2566	257.87	0.76738
275	11.080	261.15	0.79743	7.5281	261.06	0.78657	5.5220	260.96	0.77785	4.4103	260.86	0.77151
300	11.460	264.13	0.80142	7.7877	264.04	0.79057	5.7133	263.95	0.78175	4.5638	263.86	0.77553
325	11.841	267.12	0.80530	8.0472	267.04	0.79445	5.9045	266.95	0.78574	4.7172	266.86	0.77942
350	12.221	270.13	0.80907	8.3065	270.05	0.79822	6.0956	269.96	0.78952	4.8704	269.88	0.78320
375	12.601	273.14	0.81273	8.5656	273.06	0.80189	6.2865	272.98	0.79319	5.0235	272.90	0.78687
400	12.981	276.15	0.81629	8.8247	276.08	0.80545	6.4773	276.00	0.79676	5.1765	275.92	0.79045
Temp. (°F)	30 psi (2.4°F)			35 psi (10.0°F)			40 psi (16.8°F)			45 psi (23.0°F)		
	v	h	s	v	h	s	v	h	s	v	h	s
25	2.3717	231.43	0.71759	2.0222	231.25	0.71306	1.7600	231.08	0.70910	1.5559	230.90	0.70558
50	2.5034	234.30	0.72336	2.1358	234.14	0.71885	1.8601	233.97	0.71492	1.6456	233.81	0.71142
75	2.6343	237.18	0.72889	2.2489	237.03	0.72440	1.9597	236.88	0.72048	1.7348	236.73	0.71701
100	2.7648	240.08	0.73419	2.3614	239.94	0.72972	2.0588	239.80	0.72582	1.8234	239.66	0.72236
125	2.8949	242.99	0.73928	2.4735	242.86	0.73483	2.1574	242.73	0.73094	1.9115	242.60	0.72750
150	3.0246	245.92	0.74419	2.5852	245.80	0.73974	2.2556	245.67	0.73588	1.9993	245.55	0.73245
175	3.1540	248.87	0.74892	2.6966	248.75	0.74449	2.3535	248.63	0.74063	2.0867	248.51	0.73721
200	3.2831	251.82	0.75349	2.8077	251.71	0.74906	2.4512	251.60	0.74522	2.1738	251.49	0.74181
225	3.4120	254.79	0.75791	2.9186	254.69	0.75349	2.5486	254.58	0.74965	2.2607	254.47	0.74625
250	3.5407	257.77	0.76218	3.0293	257.67	0.75777	2.6457	257.57	0.75394	2.3474	257.47	0.75055
275	3.6692	260.76	0.76632	3.1398	260.67	0.76192	2.7427	260.57	0.75810	2.4339	260.47	0.75471
300	3.7975	263.76	0.77034	3.2501	263.67	0.76594	2.8395	263.58	0.76213	2.5201	263.49	0.75875
325	3.9256	266.77	0.77424	3.3602	266.69	0.76985	2.9361	266.60	0.76603	2.6063	266.51	0.76266
350	4.0536	269.79	0.77802	3.4702	269.71	0.77364	3.0326	269.62	0.76983	2.6923	269.54	0.76646
375	4.1815	272.82	0.78170	3.5801	272.74	0.77732	3.1290	272.66	0.77352	2.7782	272.58	0.77015
400	4.3093	275.85	0.78528	3.6898	275.77	0.78090	3.2253	275.69	0.77710	2.8639	275.62	0.77374
Temp. (°F)	50 psi (29.6°F)			60 psi (38.8°F)			70 psi (47.7°F)			80 psi (55.8°F)		
	v	h	s	v	h	s	v	h	s	v	h	s
50	1.4740	233.65	0.70827	1.2163	233.31	0.70276	1.0321	232.97	0.69803	—	—	—
75	1.5547	236.57	0.71388	1.2846	236.26	0.70841	1.0915	235.95	0.70373	0.9465	235.62	0.69961
100	1.6350	239.51	0.71925	1.3523	239.22	0.71382	1.1503	238.93	0.70917	0.9987	238.63	0.70510
125	1.7148	242.46	0.72441	1.4196	242.19	0.71901	1.2086	241.91	0.71440	1.0503	241.63	0.71035
150	1.7941	245.42	0.72936	1.4864	245.17	0.72399	1.2665	244.91	0.71941	1.1015	244.65	0.71540
175	1.8732	248.39	0.73414	1.5529	248.15	0.72879	1.3240	247.91	0.72423	1.1523	247.66	0.72025
200	1.9519	251.37	0.73875	1.6190	251.15	0.73342	1.3812	250.92	0.72888	1.2028	250.68	0.72492
225	2.0303	254.37	0.74320	1.6850	254.15	0.73789	1.4382	253.93	0.73337	1.2530	253.71	0.72942
250	2.1087	257.37	0.74751	1.7507	257.16	0.74221	1.4949	256.96	0.73771	1.3030	256.75	0.73378
275	2.1868	260.38	0.75168	1.8161	260.18	0.74640	1.5514	259.99	0.74191	1.3528	259.79	0.73799
300	2.2647	263.40	0.75572	1.8814	263.21	0.75045	1.6077	263.03	0.74597	1.4023	262.84	0.74207
325	2.3424	266.42	0.75964	1.9466	266.25	0.75438	1.6638	266.07	0.74991	1.4517	265.89	0.74602
350	2.4200	269.46	0.76344	2.0116	269.29	0.75820	1.7198	269.12	0.75374	1.5010	268.95	0.74986
375	2.4975	272.50	0.76714	2.0764	272.33	0.76190	1.7757	272.17	0.75745	1.5501	272.01	0.75358
400	2.5748	275.54	0.77073	2.1412	275.39	0.76550	1.8315	275.23	0.76106	1.5991	275.08	0.75720
Temp. (°F)	90 psi (63.1°F)			100 psi (69.9°F)			125 psi (84.8°F)			150 psi (97.7°F)		
	v	h	s	v	h	s	v	h	s	v	h	s
75	0.83371	235.30	0.69592	0.74329	234.96	0.69258	—	—	—	—	—	—
100	0.88072	238.32	0.70146	0.78621	238.02	0.69816	0.61574	237.23	0.69100	0.50165	236.40	0.68493
125	0.92717	241.35	0.70675	0.82855	241.07	0.70349	0.65075	240.33	0.69643	0.53187	239.57	0.69048
150	0.97317	244.38	0.71182	0.87041	244.11	0.70859	0.68522	243.43	0.70162	0.56150	242.73	0.69576
175	1.01871	247.41	0.71670	0.91186	247.16	0.71349	0.71925	246.53	0.70659	0.59063	245.87	0.70081
200	1.0640	250.45	0.72139	0.95298	250.22	0.71821	0.75291	249.62	0.71137	0.61936	249.00	0.70566
225	1.1090	253.49	0.72592	0.99380	253.27	0.72275	0.78625	252.71	0.71597	0.64775	252.13	0.71031
250	1.1538	256.54	0.73029	1.03437	256.33	0.72714	0.81932	255.80	0.72040	0.67584	255.26	0.71479
275	1.1983	259.59	0.73452	1.07471	259.39	0.73139	0.85215	258.89	0.72468	0.70369	258.38	0.71912
300	1.2426	262.65	0.73861	1.11487	262.46	0.73549	0.88478	261.98	0.72883	0.73132	261.50	0.72329
325	1.2868	265.71	0.74257	1.15485	265.53	0.73947	0.91723	265.08	0.73283	0.75877	264.62	0.72734
350	1.3308	268.78	0.74642	1.19467	268.61	0.74333	0.94952	268.17	0.73672	0.76804	267.74	0.73125
375	1.3747	271.85	0.75015	1.23436	271.68	0.74707	0.98167	271.27	0.74049	0.81317	270.86	0.73504
400	1.4184	274.92	0.75378	1.27393	274.76	0.75071	1.0136	274.37	0.74414	0.84017	273.97	0.73872
Temp. (°F)	200 psi (119.4°F)			300 psi (152.9°F)			400 psi (179.1°F)			500 psi (200.9°F)		
	v	h	s	v	h	s	v	h	s	v	h	s
150	0.40616	241.25	0.68610	0.24844	237.90	0.67098	—	—	—	—	—	—
175	0.42934	244.50	0.69133	0.26630	241.48	0.67674	—	—	—	—	—	—
200	0.45202	247.73	0.69633	0.28338	244.97	0.68213	0.19729	241.80	0.67069	—	—	—
225	0.47430	250.95	0.70111	0.29987	248.40	0.68723	0.21139	245.55	0.67627	0.15684	242.26	0.66655
250	0.49625	254.14	0.70570	0.31590	251.78	0.69209	0.22479	249.19	0.68149	0.16913	246.28	0.67231
275	0.51792	257.33	0.71011	0.33155	255.12	0.69672	0.23767	252.74	0.68641	0.18064	250.13	0.67764
300	0.53934	260.51	0.71437	0.34690	258.44	0.70116	0.25015	256.23	0.69109	0.19158	253.85	0.68262
325	0.56056	263.68	0.71847	0.36199	261.74	0.70543	0.26230	259.68	0.69555	0.20211	257.48	0.68733
350	0.58160	266.85	0.72245	0.37687	265.01	0.70954	0.27419	263.08	0.69982	0.21230	261.05	0.69180
375	0.60247	270.01	0.72629	0.39155	268.27	0.71350	0.28585	266.46	0.70393	0.22222	264.56	0.69608
400	0.62321	273.17	0.73002	0.40607	271.52	0.71734	0.29732	269.81	0.70788	0.23192	268.03	0.70017

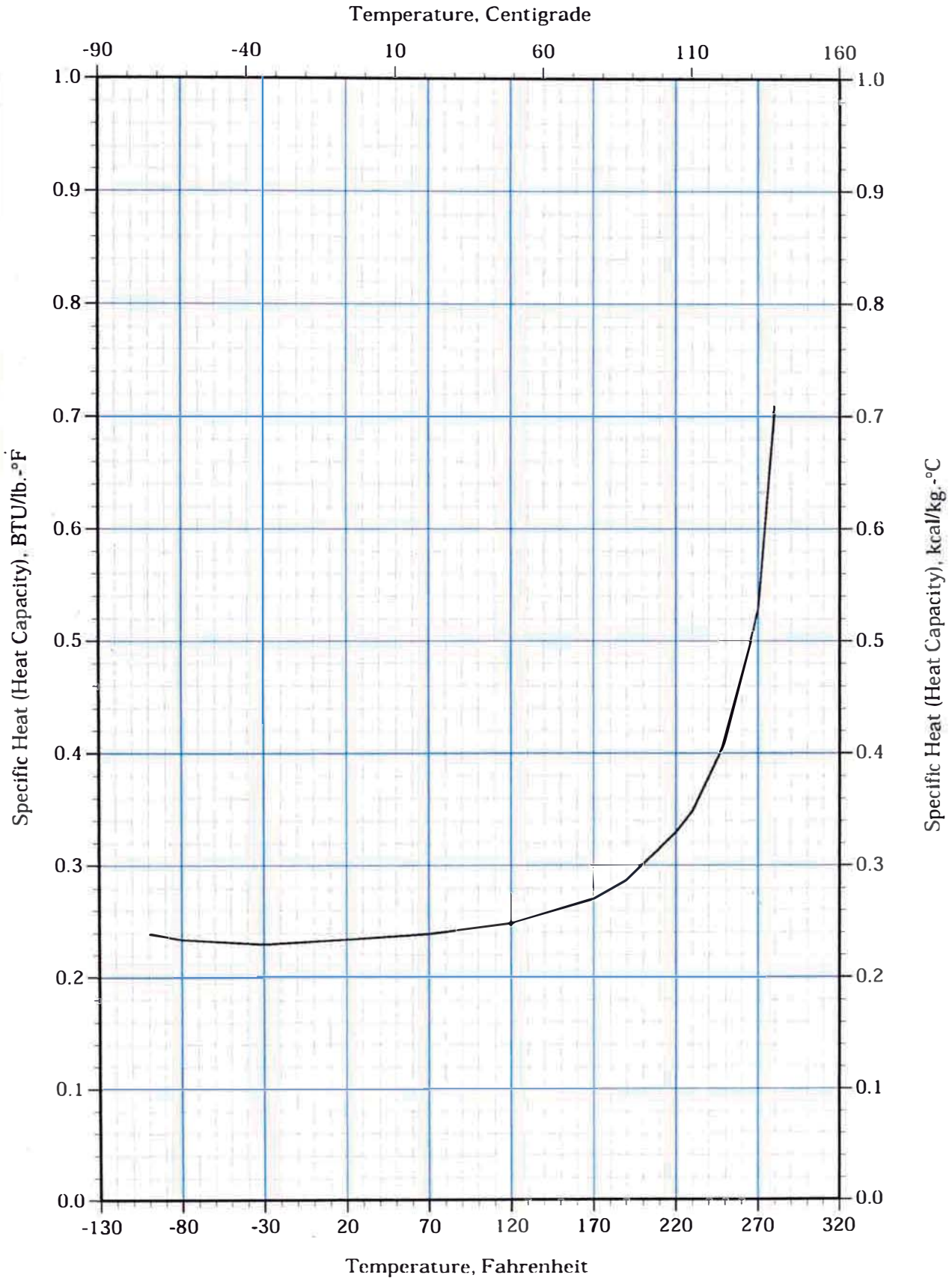
REF: Kapoor, R.M.; Martin, J.J. Thermodynamic Properties of Chlorine, Engineering Research Institute, University of Michigan, Ann Arbor, Michigan (1957).

Density of Liquid Chlorine

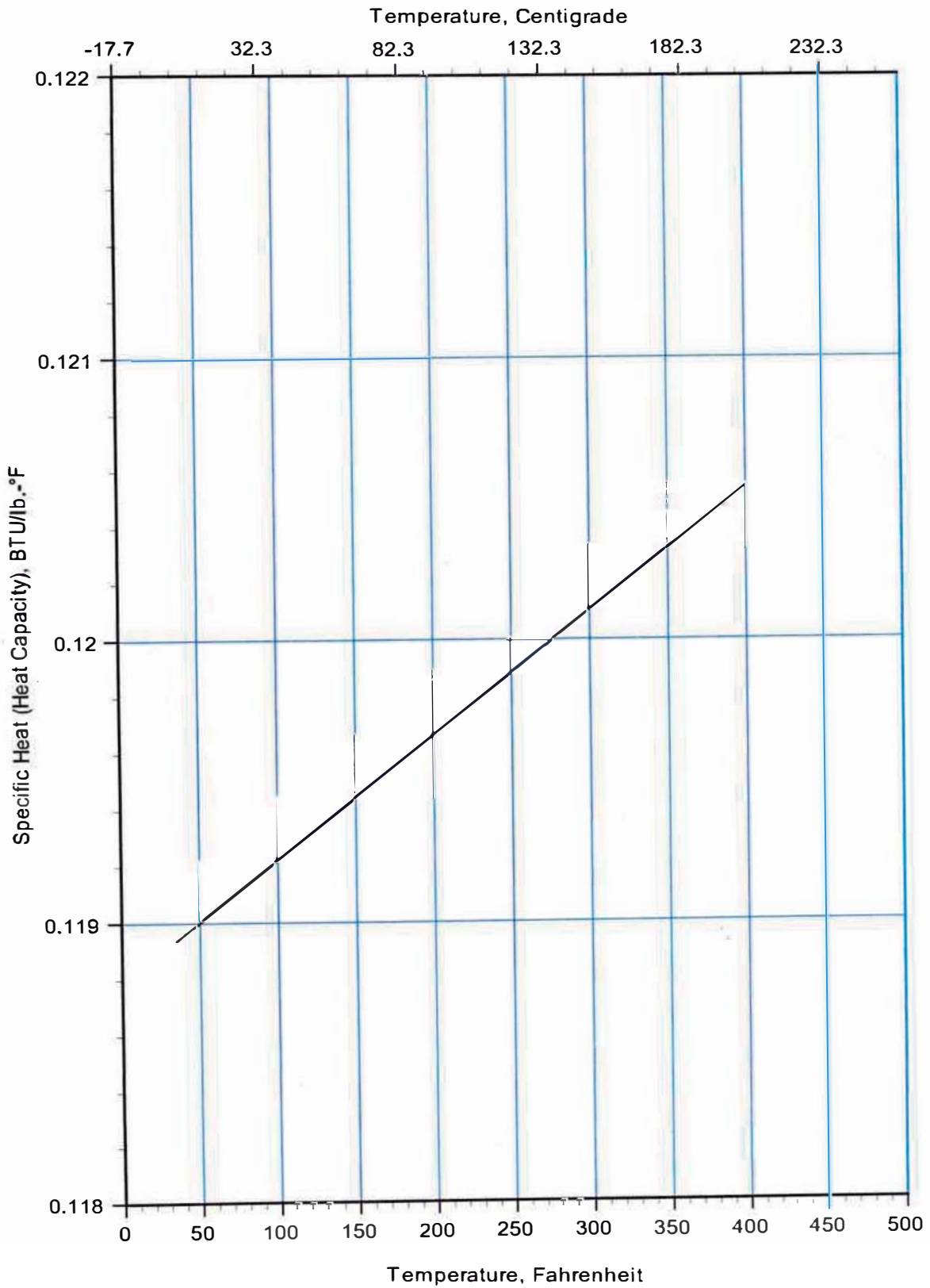


Technical Data

Specific Heat (Heat Capacity) of Liquid Chlorine

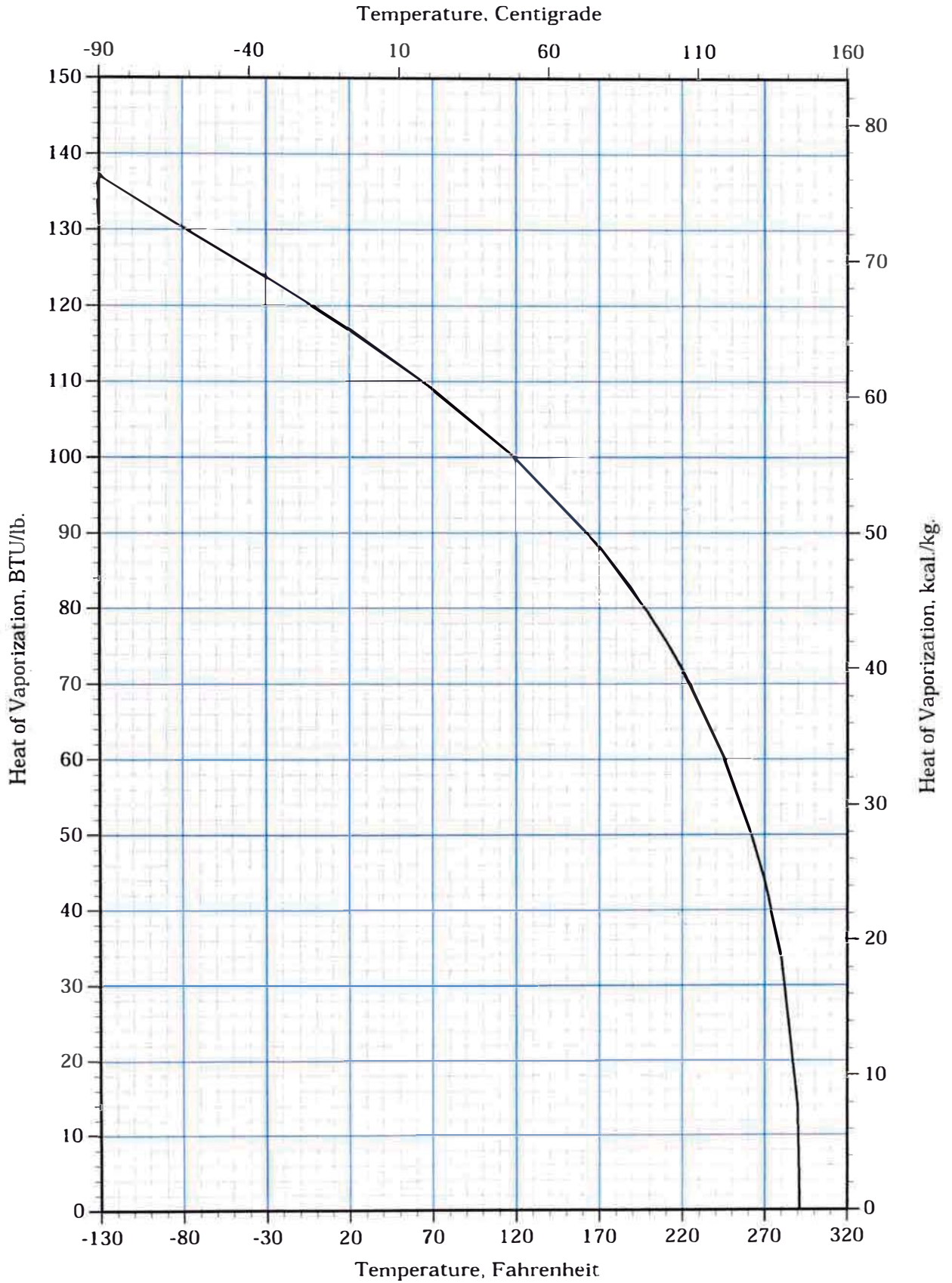


Specific Heat (Heat Capacity) of Chlorine Gas

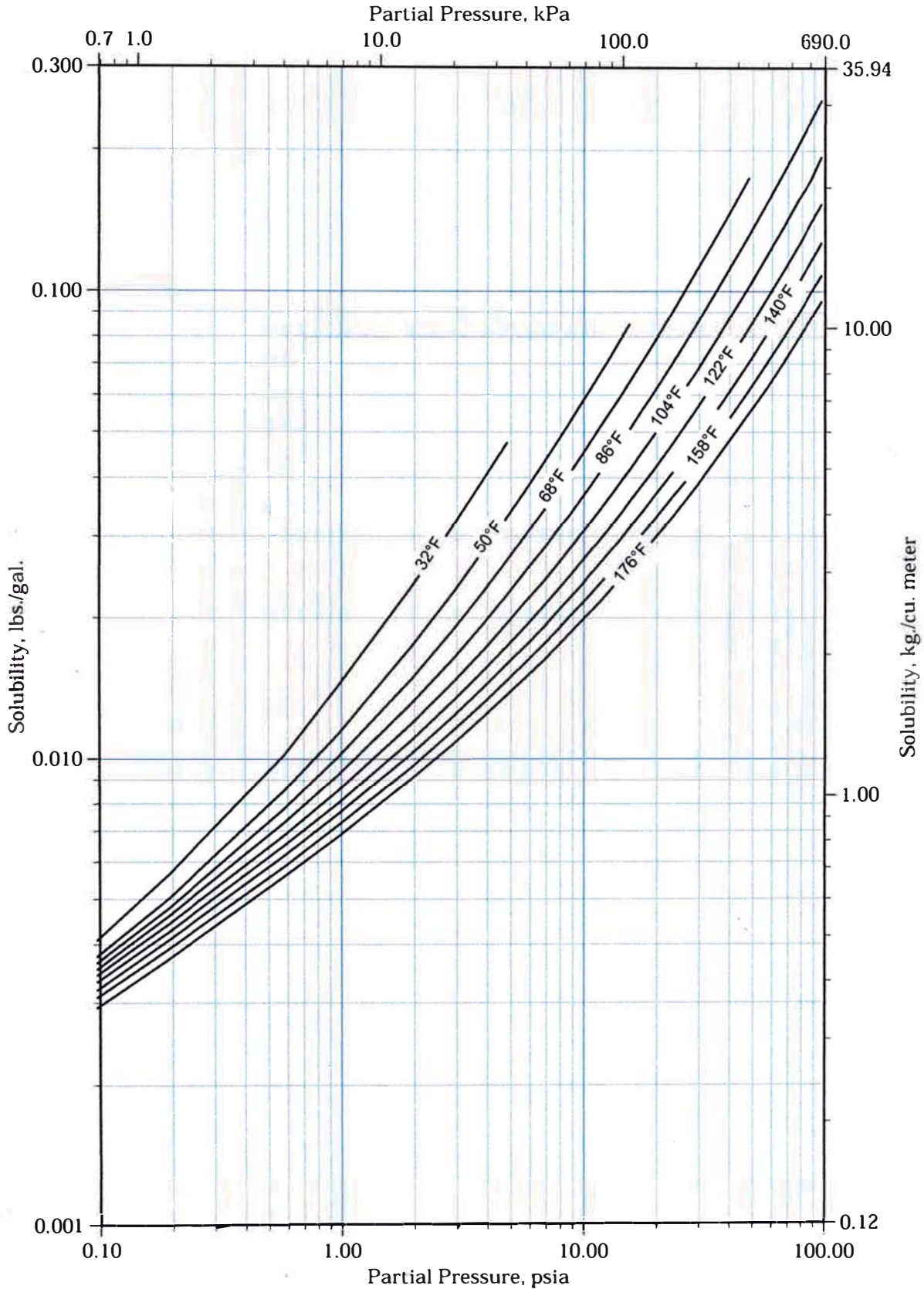


Technical Data

Latent Heat of Vaporization of Chlorine

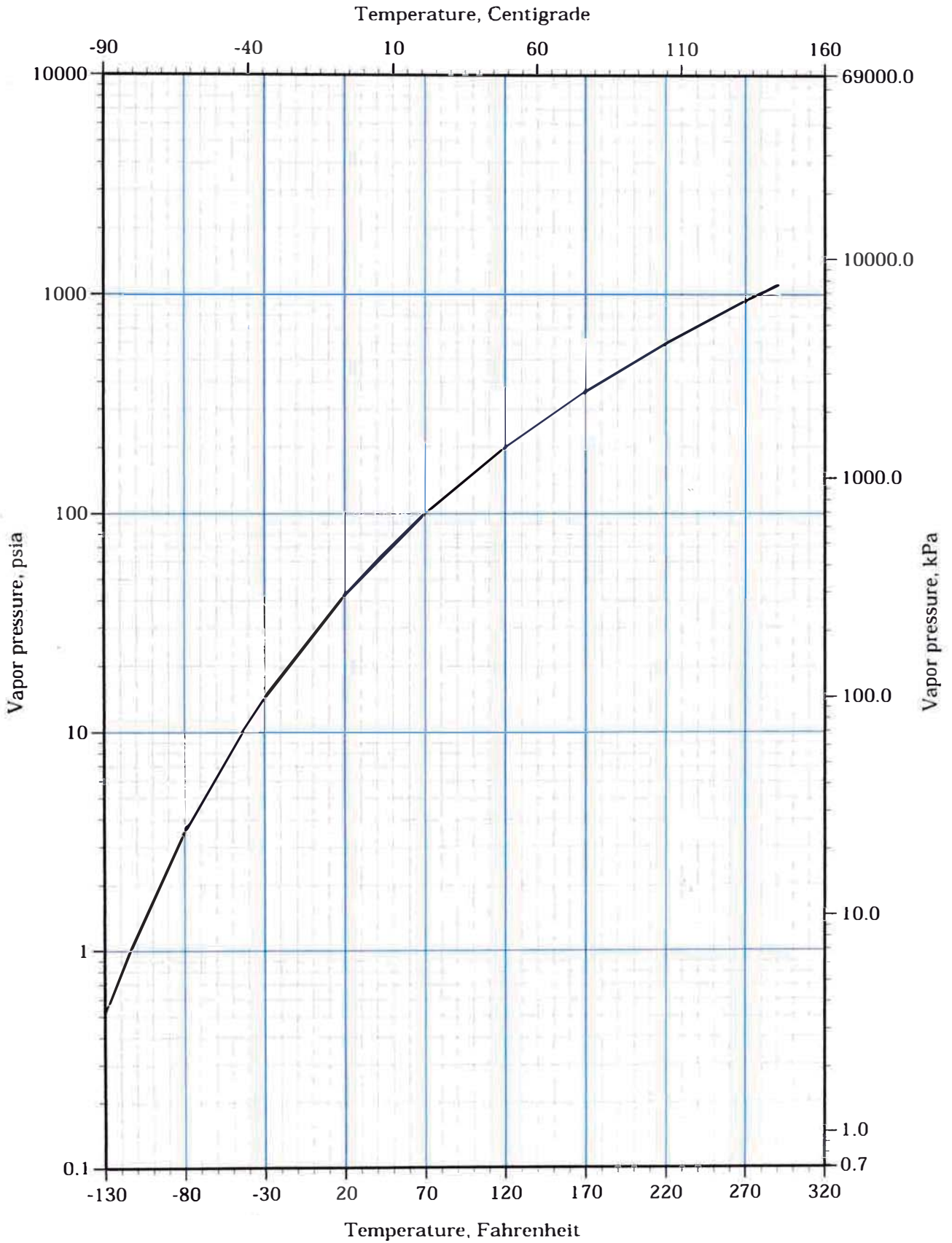


Solubility of Chlorine in Water

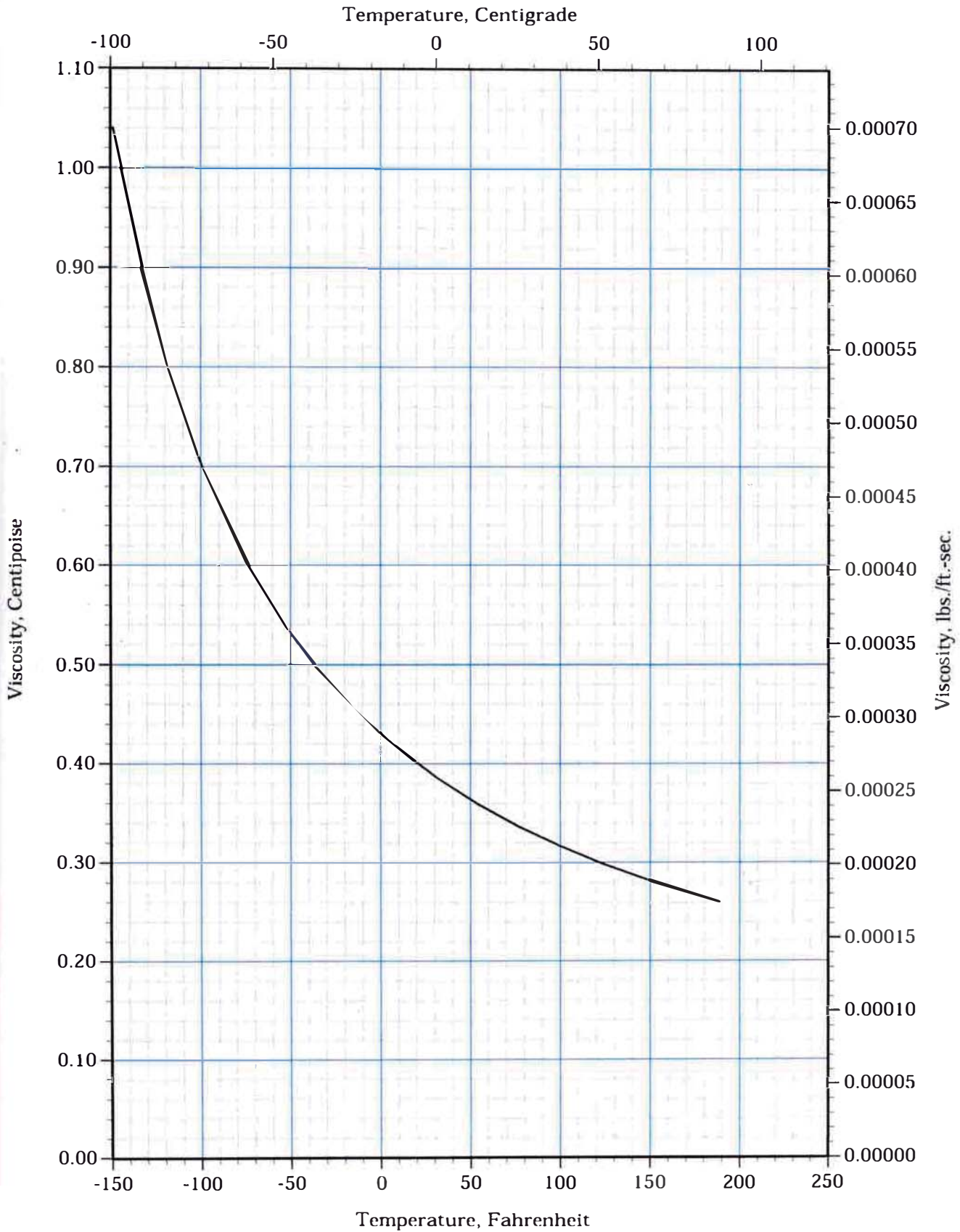


Technical Data

Vapor Pressure of Saturated Chlorine

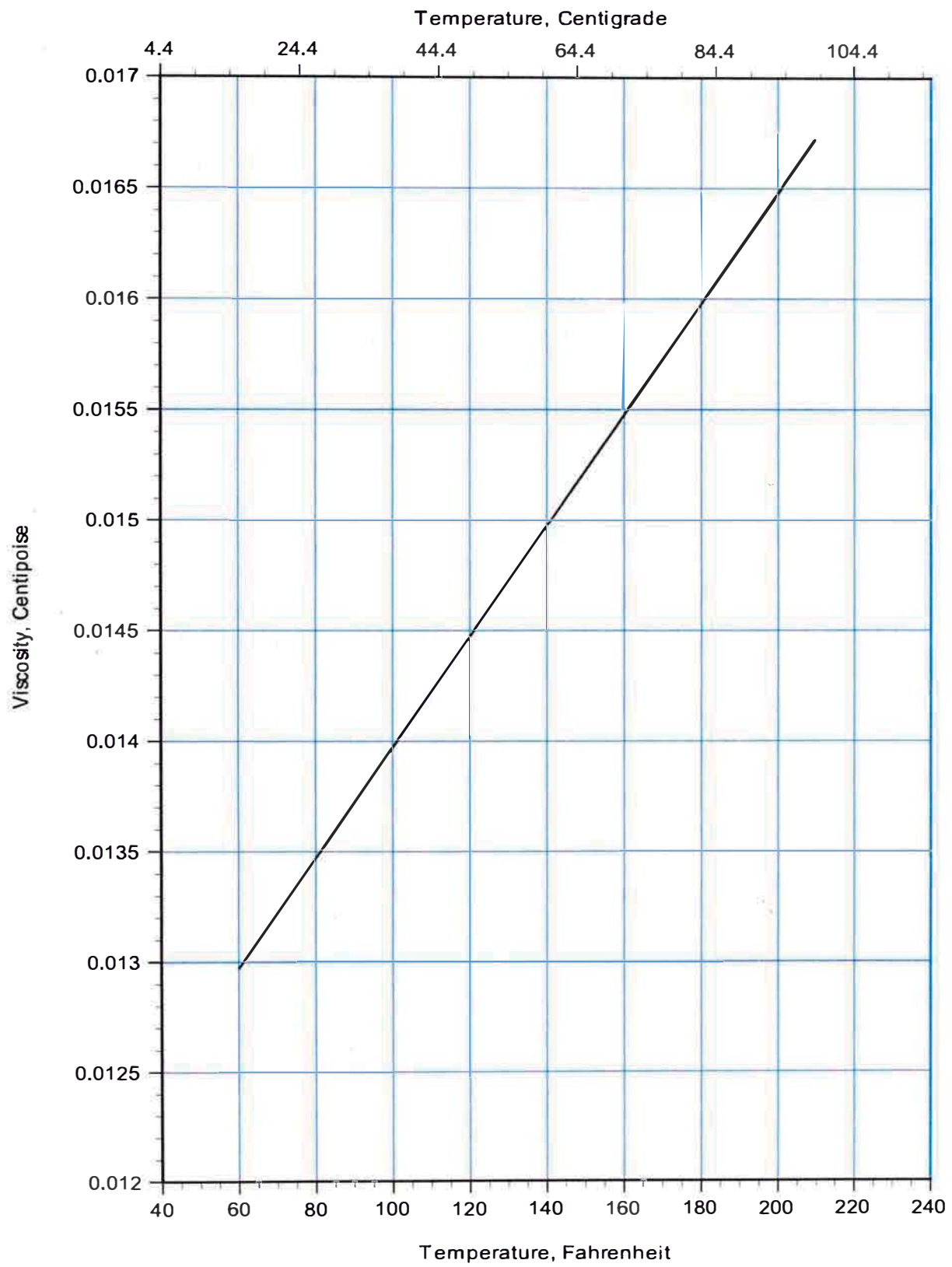


Viscosity of Liquid Chlorine

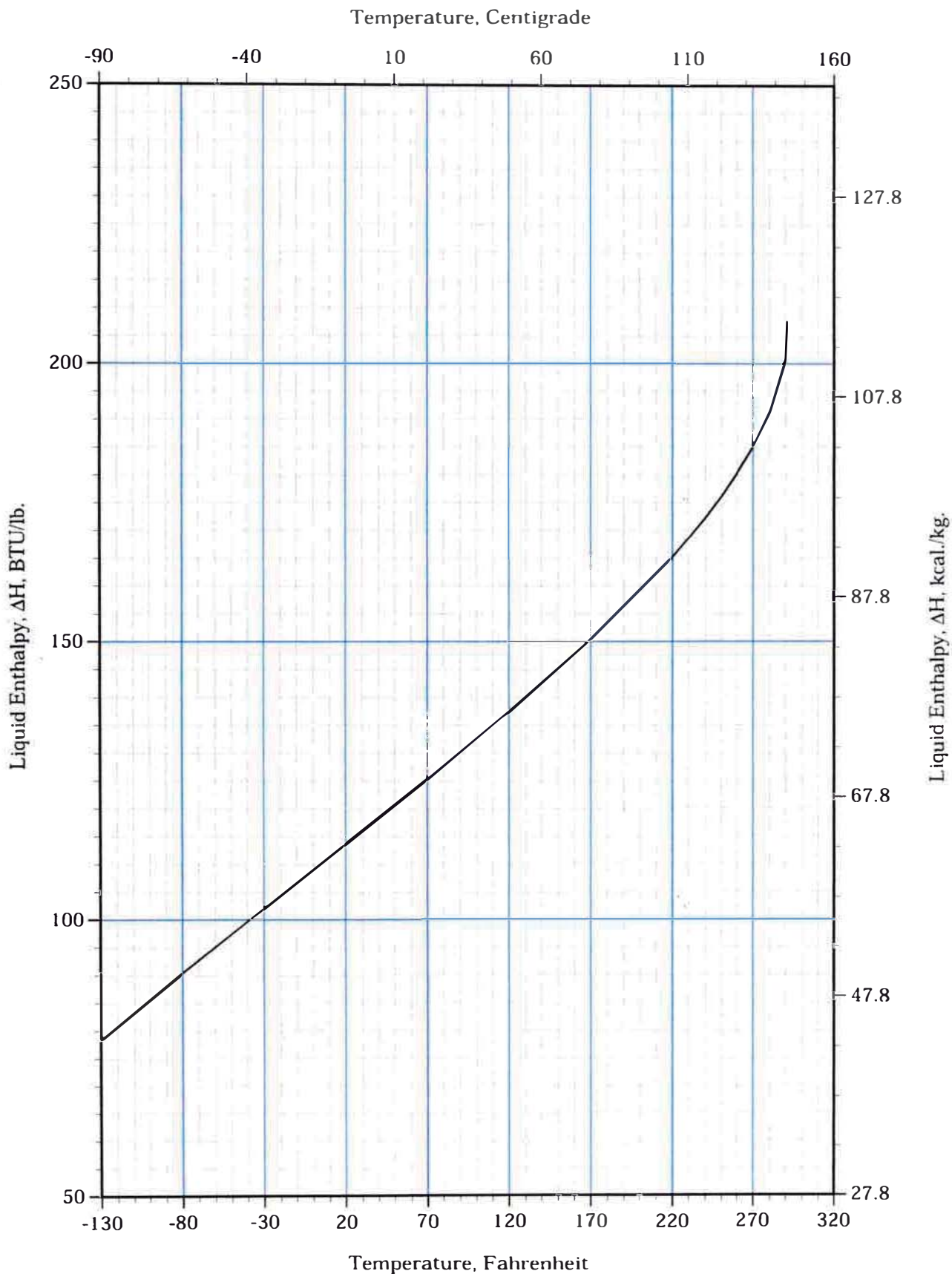


Technical Data

Viscosity of Chlorine Gas



Enthalpy of Liquid Chlorine



Bibliography

Capoor, R.N.; Martin, J.J.
"Thermodynamic Properties of Chlorine"
Engineering Research Institute,
University of Michigan, Ann Arbor,
Michigan (1957).

Kirkbride, F.W.
in Mellow, J.W.: "Inorganic and
Theoretical Chemistry," Vol. II,
Suppl. I, Sect. XIII.
John Wiley & Sons Inc., New York
(1956).

Laubusch, E.J.
in "Chlorine, Its Manufacture, Prop-
erties and Uses," Ch. 3 (Ed.:
Sconce, J.S.)
ACS Monograph Series No. 154
Reinhold Publishing Corp., New
York (1962).

McBride, B.J.; Heimel, S.; Ehlers,
J.G.; Gordon, S.
"Thermodynamic Properties to
6000°K for 210 Substances Invol-
ving the First 18 Elements"
NASA SP-3001. Lewis Research
Center, Cleveland, Ohio (1963).

McGlashan, M.L.
"IUPAC Manual of Symbols and
Terminology for Physicochemical
Quantities and Units"
Pure Appl. Chem 21, 1 (1970).

Mussini, T.; Faita, G.
in "Encyclopedia of Electrochem-
istry of the Elements,"
Vol. 1, Ch. 1 (Ed.: Bard, A.J.)
Marcel Dekker, Inc., New York
(1973).

Setty, H.S.N.; Smith, J.D.; Yaws,
C.L.
Chem. Eng., 81 (12) 70 (1974).

Stull, D.R.; Prophet, H.
"JANAF Thermochemical Tables"
2nd Ed.
NSRDS – NBS37
National Bureau of Standards,
Washington, D.C., (1971).

Svehla, R.A.
"Estimated Viscosities and Thermal
Conductivities of Gases at High
Temperatures"
NASA Technical Report R-132
Lewis Research Center, Cleveland,
Ohio (1962).

Ziegler, L.
Chem. Ing. Tech., 22, 229 (1950).

ANEXO 04

VOLTAJE DE OPERACIÓN EN CELDAS ELECTROLÍTICAS

El voltaje de operación de cada una de las celdas electrolíticas se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Voltaje}(V) = V_{desc.} + Kf \times \frac{kA}{A} + (80 - Tm) * 0.01$$

Donde: $V_{desc.}$: Voltaje de descomposición (V).

Kf: Coeficiente específico de voltaje ($V \times \frac{m^2}{kA}$).

kA: Amperaje de consumo (kA).

A: Área catódica ($\approx 11.5 m^2$).

Tm: Temperatura media de la salmuera ($\approx 80 ^\circ C$).

A continuación se procederá a describir los factores que intervienen en la ecuación mencionada.

Voltaje de descomposición ($V_{desc.}$).

Para llevar a cabo la descomposición electrolítica, por ejemplo de un mol de NaCl, deberá ser alimentada una cantidad de energía eléctrica equivalente al calor de formación.

Para liberar un equivalente gramo de sodio y de cloro, deberá pasar a través de la sal fundida, un Faraday.

La energía eléctrica, como todas las formas de energía, pueden ser expresadas como el producto de una cantidad y un factor de intensidad. El factor de cantidad en el presente caso es el Faraday (96500 coulomb). El factor de intensidad es el voltaje requerido para causar que esta cantidad de flujo eléctrico pase a través de la sal y produzca su descomposición.

Puesto que la cantidad de energía requerida para efectuar la descomposición de un mol es constante y el factor de cantidad también es constante, el factor de intensidad, voltaje, deberá ser también constante (a una temperatura dada).

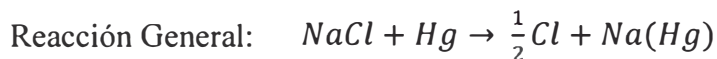
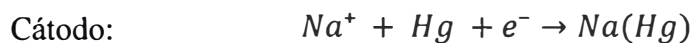
Este mínimo voltaje constante requerido para que tenga lugar la descomposición electrolítica, es conocido como voltaje de descomposición.

La energía requerida para descomponer un mol, por ejemplo de sal, puede ser expresada como el producto de éste voltaje de descomposición, V_{desc} , y el número de coulomb (Faraday).

$$\Delta H \text{ (Joule)} = V_{desc} \times 96500 \quad (I)$$

Conocida como la Regla de Thomson-Helmholtz, éste método de calcular el voltaje de descomposición no es rigurosamente exacta, puesto que no toma en cuenta otras variables como la temperatura, presión. Por lo general esta regla se cumple con bastante aproximación.

En la celda electroquímica de mercurio, se tiene la siguiente reacción de electrólisis:



Donde el NaCl se encuentra como solución.

Entalpías de formación:

$$\Delta H_f^0 \text{ (NaCl como solución)} = 97110 \text{ cal / mol.}$$

$$\Delta H_f^0 \text{ (NaHg como amalgama)} = 23600 \text{ cal / mol.}$$

$$\Delta H_f^0 \text{ (Hg)} = 0 \text{ cal / mol.}$$

$$\Delta H_f^0(\text{Cl}_2) = 0 \text{ cal / mol.}$$

Por lo tanto:

$$\Delta H = -23\,600 - (-97\,110) = 73\,510 \text{ cal.}$$

$$\Delta H = 307\,639.4 \text{ joule.}$$

Reemplazamos en (I), obtenemos:

$$V_{\text{desc.}} = 3.188 \text{ V}$$

En nuestra fórmula aproximaremos este valor a 3.20 voltios.

Por otro lado, el coeficiente específico de voltaje, K_f , es dato de planta y está ligado directamente a la separación que existe entre el ánodo y el cátodo de la celda electrolítica. Se recomienda por especificaciones de diseño de la celda electrolítica un valor de K_f mínimo de 0.050. En planta por lo general se mantiene un valor de K_f de 0.061.

Como se puede observar, el factor de temperatura, en forma general no afecta en nuestro cálculo del voltaje de operación, por lo que no se detallará dicho factor.

Para el cálculo general de voltaje se deberá tener en cuenta la cantidad de celdas electrolíticas en operación, la intensidad de corriente que se está consumiendo en el proceso (kA) y la pérdida de voltaje por el barraje de cobre que en nuestro caso equivale a 4 voltios.

ANEXO 05

UNIDAD DE AGUA SUB ENFRIADA (CHILLER)

ALCANCE DE LA SECCIÓN

El alcance de esta sección llamada “Unidad de Agua Sub enfriada (CHILLER)”, es proporcionar agua sub enfriada para todos los puntos de utilización en la planta de producción de hipoclorito.

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

El agua sub enfriada es producida en las Unidades CHILLER A/B, éstas trabajan en paralelo, mediante la evaporación de un refrigerante adecuado (HFC 134a) en un intercambiador de calor que es alimentado en contracorriente por el retorno de agua sub enfriada (proveniente de la planta).

Los compresores de refrigeración succionan los vapores del refrigerante para la re compresión.

En el condensador, los vapores son licuados usando agua del sistema de enfriamiento de la planta cloro álcali, entonces el flujo de refrigerante condensado regresa al evaporador.

El flujo de agua sub enfriada que retorna de la planta es almacenada en el tanque de agua sub enfriada desde donde es bombeada a hacia la unidad y desde allí se distribuye el agua sub enfriada para todos los puntos de la planta.

Para el caso de la planta cloro álcali, se hace uso de dos equipos CHILLER, de 80 TR y de 190 TR. El primero interviene en los sistemas de enfriamiento de cloro e hidrógeno y el segundo es exclusivamente para el enfriamiento en la sección de producción de hipoclorito de sodio.

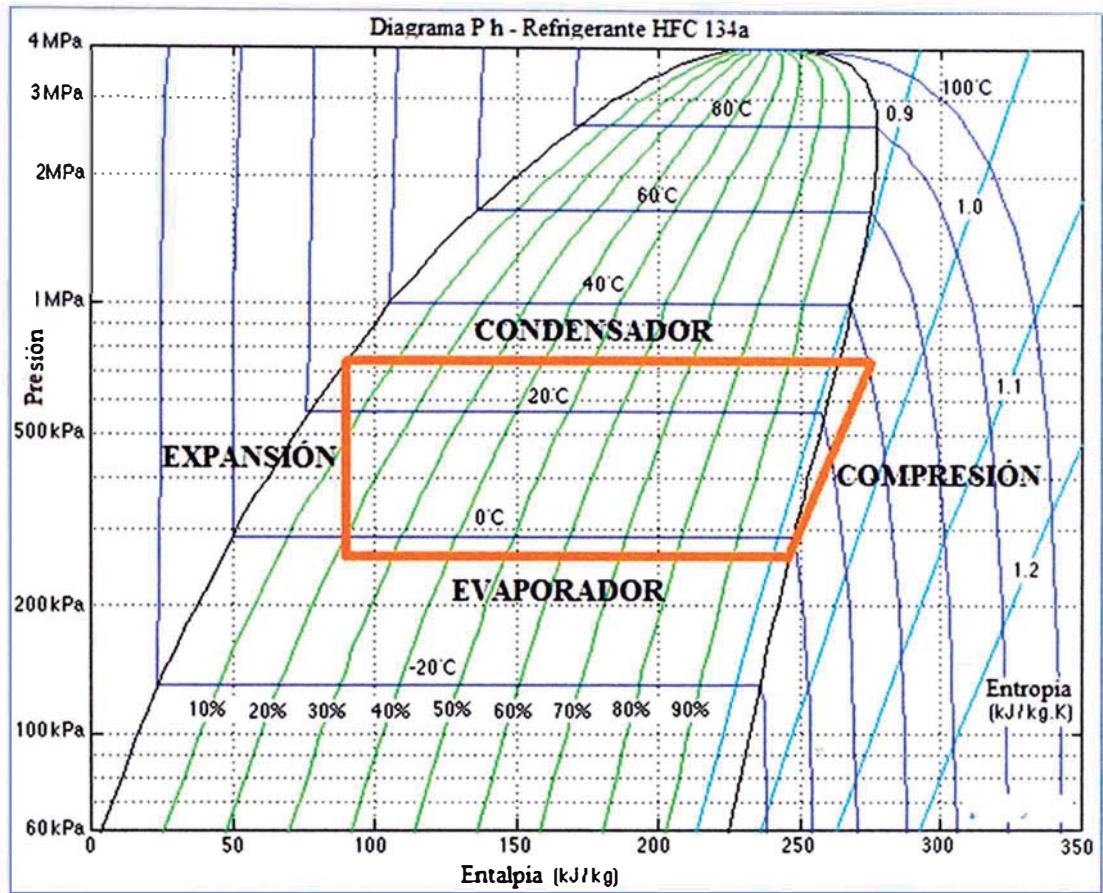


Figura N° 5A. Ciclo de refrigeración ideal.

Para obtener la cantidad de agua necesaria del sistema de enfriamiento que se requiere en el equipo CHILLER, el cálculo se basa en un ciclo de refrigeración ideal, como se muestra en la figura N° 5A.

Los equipos CHILLER, de 80 TR y 190 TR, cuentan con dos circuitos (A/B) de enfriamiento, que conjuntamente dan la capacidad total de enfriamiento del CHILLER.

CÁLCULO DEL AGUA DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO INVOLUCRADA EN EL CICLO DE REFRIGERACIÓN DE LOS CHILLER.

Como se mencionó, los cálculos se basan en un ciclo de refrigeración ideal.

Para cada uno de los CHILLER, se realizan los cálculos para un circuito de enfriamiento. Se asume que el segundo circuito de enfriamiento realiza el mismo proceso que el primero.

El circuito asumido será como el que se muestra en la figura N° 5B.

CHILLER 190 TR

Datos de Planta (circuito A)

Compresor

Presión al ingreso del compresor = 234.3 kPa

Presión a la salida del compresor = 730.0 kPa

Condensador

Temperatura ingreso de agua = 19.0 °C

Temperatura salida de agua = 24.6 °C

Evaporador

Temperatura ingreso de agua = 9.0 °C

Temperatura salida de agua = 6.0 °C

CONDICIONES DE PROCESO

Compresión isentrópica.

Condensación isobárica.

Expansión isentálpica.

Evaporación isobárica.

CÁLCULO EN EL PROCESO

Punto 2: Vapor saturado.

Presión = 234.3 kPa

De tablas (Propiedades termodinámicas del HFC-134a)

Temperatura = -6.0 °C

Entalpía (h_2) = 395.3 kJ/kg

Entropía = 1.7314 kJ/(kg.°K)

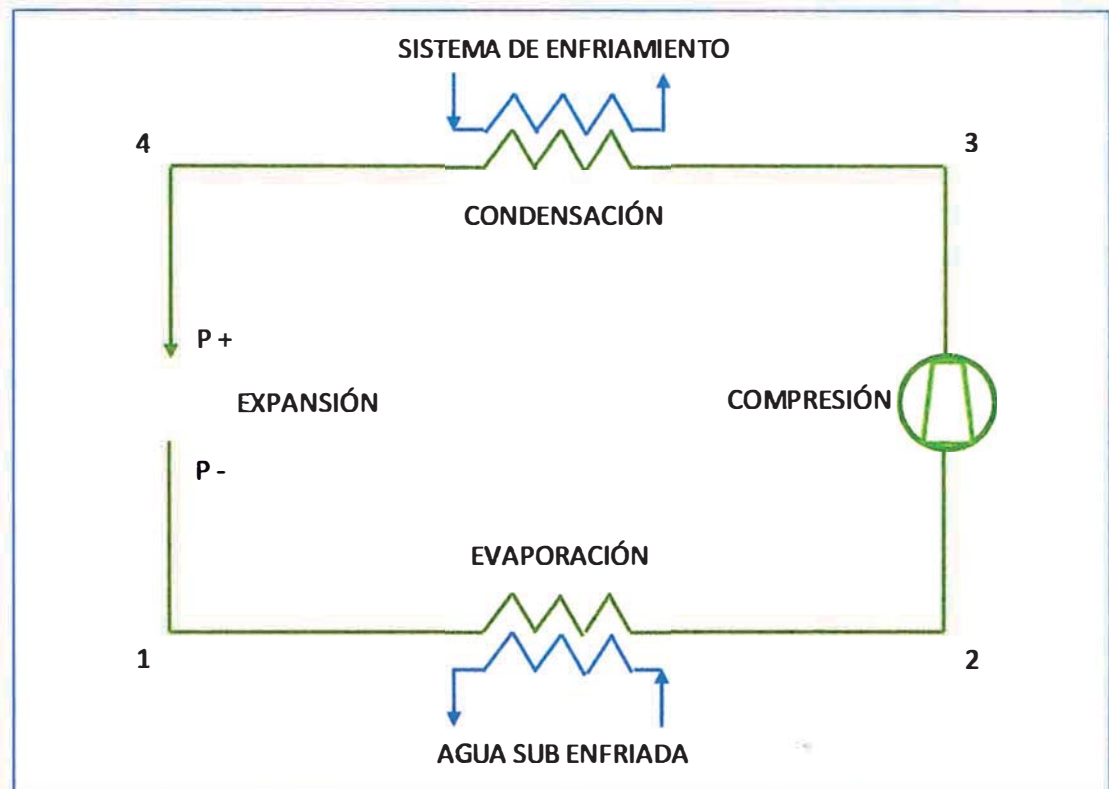


Figura N° 5B. Circuito del ciclo de refrigeración HFC 134a.

Punto 3: Vapor sobrecalentado

Presión = 730.0 kPa

Entropía = 1.7314 kJ/(kg.°K)

De tablas (Propiedades termodinámicas del HFC-134a)

Temperatura = 32.6 °C

Entalpía (h_3) = 419.1 kJ/kg

Punto 4: Líquido Condensado

Presión = 730.0 kPa

De tablas (Propiedades termodinámicas del HFC-134a)

Temperatura = 28.1 °C

Entalpía (h_4) = 239.1 kJ/kg

Punto 1: Equilibrio líquido – vapor

Por ser un proceso de expansión isentálpica, se cumple que:

$$h_4 = h_1$$

La capacidad de refrigeración nominal del CHILLER de 190 TR es 185.1TR.

Convirtiendo a unidades de kcal por hora, nos da un valor de 560 000 kcal/h.

Este es el calor total que puede transferirse hacia el refrigerante en el evaporador, cuando el equipo trabaja al 100%.

Evaporador

Calor transferido en el evaporador (circuito A):

$$Q_{A \text{ evap}} = \dot{m} \times (h_2 - h_1)$$

Donde: \dot{m} : es el flujo de refrigerante en el circuito.

Calor transferido en el evaporador (circuito B):

$$Q_{B \text{ evap}} = Q_{A \text{ evap}}$$

Calor total retirado por el refrigerante cuando el equipo trabaja al 100% de su capacidad:

$$Q_{\text{evap}} = Q_{B \text{ evap}} + Q_{A \text{ evap}} = 2 \times Q_{A \text{ evap}}$$

Reemplazando los datos (conversión de unidades):

$$560\,000 \text{ kcal/h} = 2 \times \dot{m} \times (94.872 \text{ kcal/kg} - 57.384 \text{ kcal/kg})$$

Despejando, se obtiene:

$$\dot{m} = 7\,469.1 \text{ kg/h}$$

Condensador

Calor transferido en el condensador (circuito A):

$$Q_{A \text{ cond}} = \dot{m} \times (h_3 - h_4)$$

Donde: \dot{Q} : es el flujo de refrigerante en el circuito.

Calor transferido por el condensador (circuito B):

$$Q_{B \text{ cond}} = Q_{A \text{ cond}}$$

Calor total transferido por el refrigerante cuando el equipo trabaja al 100% de su capacidad:

$$Q_{\text{cond}} = Q_{B \text{ cond}} + Q_{A \text{ cond}} = 2 \times Q_{A \text{ cond}}$$

Reemplazando los datos:

$$Q_{\text{cond}} = 2 \times 7\,469.1 \text{ kg/h} \times (100.584 \text{ kcal/kg} - 57.384 \text{ kcal/kg})$$

Despejando, se obtiene:

$$Q_{\text{cond}} = 645\,330.24 \text{ kcal/h}$$

Este calor es el ganado por el agua del sistema de enfriamiento en un equipo CHILLER de 190 TR. Se cuenta con dos unidades de sub enfriamiento de agua.

Por lo tanto el calor que transfiere al sistema de enfriamiento por parte de las unidades de sub enfriamiento, CHILLER de 190 TR es 1 290 660.40 kcal /h.

CHILLER 80 TR

Se toma como base el mismo circuito mostrado en la figura N° 5B.

Datos de Planta (circuito A)

Compresor

Presión al ingreso del compresor = 234.2 kPa

Presión a la salida del compresor = 1 000.0 kPa

Condensador

Temperatura ingreso de agua = 20.0 °C

Temperatura salida de agua = 23.0 °C

Evaporador

Temperatura ingreso de agua = 15.0 °C

Temperatura salida de agua = 7.0 °C

CONDICIONES DE PROCESO

Compresión isentrópica.

Condensación isobárica.

Expansión isentálpica.

Evaporación isobárica.

CÁLCULO EN EL PROCESO

Punto 2: Vapor saturado.

Presión = 234.2 kPa

De tablas (Propiedades termodinámicas del HFC-134a)

Temperatura = -6.0 °C

Entalpía (h_2) = 395.3 kJ/kg

Entropía = 1.7314 kJ/(kg.°K)

Punto 3: Vapor sobrecalentado

Presión = 1 000 kPa

Entropía = 1.7314 kJ/(kg.°K)

De tablas (Propiedades termodinámicas del HFC-134a)

Temperatura = 44.8 °C

Entalpía (h_3) = 425.7 kJ/kg

Punto 4: Líquido Condensado

Presión = 1000 kPa

De tablas (Propiedades termodinámicas del HFC-134a)

Temperatura = 39.3 °C

Entalpía (h_4) = 255.6 kJ/kg

Punto 1: Equilibrio líquido – vapor

Por ser un proceso de expansión isentálpica, se cumple que:

$$h_4 = h_1$$

La capacidad de refrigeración nominal del CHILLER de 80 TR es 76 TR.

Convirtiendo a unidades de kcal por hora, nos da un valor de 230 000 kcal/h.

Este es el calor total que puede transferirse hacia el refrigerante en el evaporador, cuando el equipo trabaja al 100%.

Evaporador

Calor transferido en el evaporador (circuito A):

$$Q_{A \text{ evap}} = \dot{m} \times (h_2 - h_1)$$

Donde: \dot{m} : es el flujo de refrigerante en el circuito.

Calor transferido en el evaporador (circuito B):

$$Q_{B \text{ evap}} = Q_{A \text{ evap}}$$

Calor total retirado por el refrigerante cuando el equipo trabaja al 100% de su capacidad:

$$Q_{\text{evap}} = Q_{B \text{ evap}} + Q_{A \text{ evap}} = 2 \times Q_{A \text{ evap}}$$

Reemplazando los datos (convirtiendo unidades):

$$230\,000 \text{ kcal/h} = 2 \times \dot{m} \times (94.872 \text{ kcal/kg} - 61.344 \text{ kcal/kg})$$

Despejando, se obtiene:

$$\dot{m} = 3097.4 \text{ kg/h}$$

Condensador

Calor transferido en el condensador (circuito A):

$$Q_{A \text{ cond}} = \dot{m} \times (h_3 - h_4)$$

Donde: \dot{Q} : es el flujo de refrigerante en el circuito.

Calor transferido por el condensador (circuito B):

$$Q_{B \text{ cond}} = Q_{A \text{ cond}}$$

Calor total transferido por el refrigerante cuando el equipo trabaja al 100% de su capacidad:

$$Q_{\text{cond}} = Q_{B \text{ cond}} + Q_{A \text{ cond}} = 2 \times Q_{A \text{ cond}}$$

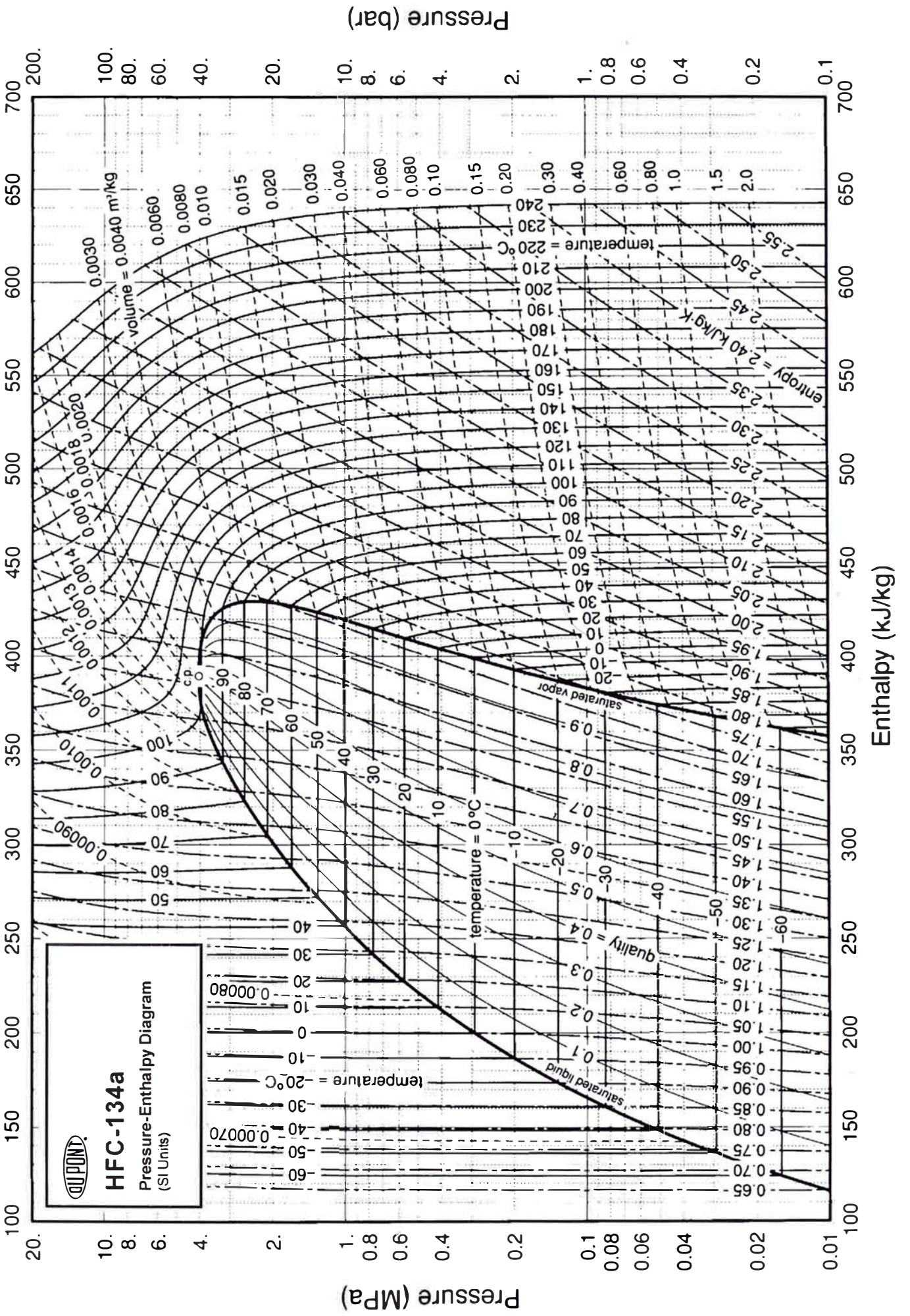
Reemplazando los datos:

$$Q_{\text{cond}} = 2 \times 3\,097.4 \text{ kg/h} \times (102.168 \text{ kcal/kg} - 61.344 \text{ kcal/kg})$$

Despejando, se obtiene:

$$Q_{\text{cond}} = 252\,896.5 \text{ kcal/h}$$

Este calor es el ganado por el agua del sistema de enfriamiento en un equipo CHILLER de 80 TR.



Copyright © 2005 DuPont or its affiliates. All rights reserved. The DuPont Oval Logo, DuPont™, The miracles of science™ and Suva[®] are registered trademarks or trademarks of DuPont or its affiliates.

NO PART OF THIS MATERIAL MAY BE REPRODUCED, STORED IN A RETRIEVAL SYSTEM OR TRANSMITTED IN ANY FORM OR BY ANY MEANS ELECTRONIC, MECHANICAL, PHOTOCOPYING, RECORDING OR OTHERWISE WITHOUT THE PRIOR WRITTEN PERMISSION OF DUPONT.

(4/05) RWJ291 Printed in U.S.A.
[Replaces H-39916]
Reorder No.: H-39916-1



The miracles of science™

DuPont™ Suva®
refrigerants

**Thermodynamic
Properties
of
HFC-134a**

(1,1,1,2-tetrafluoroethane)

DuPont Product Names:

DuPont™ Suva® 134a Refrigerant

DuPont™ Formacel® Z-4 Blowing Agent

DuPont™ Dymel® 134a Aerosol Propellant

DuPont™ Dymel® 134a/P Aerosol Propellant (Pharmaceutical Grade)



The DuPont Oval Logo, The miracles of science™, and Suva®, are trademarks or registered trademarks of E.I. du Pont de Nemours and Company.

The miracles of science™

Thermodynamic Properties of HFC-134a Refrigerant (1,1,1,2-tetrafluoroethane) SI Units

New tables of the thermodynamic properties of HFC-134a have been developed and are presented here. These tables are based on experimental data from the database at the National Institute of Standards and Technology (NIST). Equations have been developed, based on the Modified Benedict-Webb-Rubin (MBWR) equation of state, which represent the data with accuracy and consistency throughout the entire range of temperature, pressure, and density.

Physical Properties

Chemical Formula	CH ₂ FCF ₃	
Molecular Weight	102.03	
Boiling Point at One Atmosphere	-26.06°C	(-14.9°F)
Critical Temperature	101.08°C 374.23 K	(213.9°F) (673.6°R)
Critical Pressure	4060.3 kPa (abs)	(588.9 psia)
Critical Density	515.3 kg/m ³	(32.17 lb/ft ³)
Critical Volume	0.00194 m ³ /kg	(0.031 ft ³ /lb)

Units and Factors

- t = temperature in °C
- T = temperature in K = °C + 273.15
- P = pressure in kiloPascals absolute [kPa (abs)]
- v_f = volume of saturated liquid in m³/kg
- v_g = volume of saturated vapor in m³/kg
- V = volume of superheated vapor in m³/kg
- d_f = 1/v_f = density of saturated liquid in kg/m³
- d_g = 1/v_g = density of saturated vapor in kg/m³
- h_f = enthalpy of saturated liquid in kJ/kg
- h_{fg} = enthalpy of vaporization in kJ/kg
- h_g = enthalpy of saturated vapor in kJ/kg
- H = enthalpy of superheated vapor in kJ/kg
- s_f = entropy of saturated liquid in kJ/(kg) (K)
- s_g = entropy of saturated vapor in kJ/(kg) (K)
- S = entropy of superheated vapor in kJ/(kg) (K)
- C_p = heat capacity at constant pressure in kJ/(kg) (°C)
- C_v = heat capacity at constant volume in kJ/(kg) (°C)
- v_s = velocity of sound in m/sec

The gas constant, R = 8.314 J/(mole) (K)
for HFC-134a, R = 0.0815 kJ/kg · K

One atmosphere = 101.325 kPa

Reference point for enthalpy and entropy:

- h_f = 200 kJ/kg at 0°C
- s_f = 1 kJ/kg · K at 0°C

Equations

The Modified Benedict-Webb-Rubin (MBWR) equation of state was used to calculate the tables of thermodynamic properties. It was chosen as the preferred equation of state because it provided the most accurate fit of the thermodynamic data over the entire range of temperatures and pressures presented in these tables. The data fit and calculation of constants for HFC-134a were performed for Du Pont at the National Institute of Standards and Technology (NIST) under the supervision of Dr. Mark O. McLinden.

The constants were calculated in SI units. For conversion of thermodynamic properties to Engineering (I/P) units, properties must be calculated in SI units and converted to I/P units. Conversion factors are provided for each property derived from the MBWR equation of state.

1. Equation of State (MBWR)

$$\frac{P}{100} = \sum_{n=1}^9 a_n/V^n + \exp(-V_c^2/V^2) \sum_{n=10}^{15} a_n/V^{2n-17}$$

where the temperature dependence of the coefficients is given by:

- a₁ = RT
- a₂ = b₁T + b₂T^{0.5} + b₃ + b₄/T + b₅/T²
- a₃ = b₆T + b₇ + b₈/T + b₉/T²
- a₄ = b₁₀T + b₁₁ + b₁₂/T
- a₅ = b₁₃
- a₆ = b₁₄/T + b₁₅/T²
- a₇ = b₁₆/T
- a₈ = b₁₇/T + b₁₈/T²
- a₉ = b₁₉/T²
- a₁₀ = b₂₀/T² + b₂₁/T³
- a₁₁ = b₂₂/T² + b₂₃/T⁴
- a₁₂ = b₂₄/T² + b₂₅/T³
- a₁₃ = b₂₆/T² + b₂₇/T⁴
- a₁₄ = b₂₈/T² + b₂₉/T³
- a₁₅ = b₃₀/T² + b₃₁/T³ + b₃₂/T⁴

where T is in K = °C + 273.15, V is in liters/mole (= m³/kg × MW), V_c = 0.199334 liters/mole, P is in kPa, and R = 0.08314471 bar (absolute) × liters/mole × K.

MBWR coefficients for HFC-134a:

- b₁ = -6.545 523 5227 E-02
- b₂ = 5.889 375 1817 E+00
- b₃ = -1.376 178 8409 E+02
- b₄ = 2.269 316 8845 E+04
- b₅ = -2.926 261 3296 E+06
- b₆ = -1.192 377 6190 E-04
- b₇ = -2.721 419 4543 E+00
- b₈ = 1.629 525 3680 E+03
- b₉ = 7.294 220 3182 E+05
- b₁₀ = -1.172 451 9115 E-04
- b₁₁ = 8.686 451 0013 E-01
- b₁₂ = -3.066 016 8246 E+02
- b₁₃ = -2.566 404 7742 E-02
- b₁₄ = -2.438 183 5971 E+00
- b₁₅ = -3.160 316 3961 E+02
- b₁₆ = 3.432 165 1521 E-01
- b₁₇ = -1.015 436 8796 E-02
- b₁₈ = 1.173 423 3787 E+00
- b₁₉ = -2.730 176 6113 E-02
- b₂₀ = -6.633 850 2898 E+05
- b₂₁ = -6.475 479 9101 E+07
- b₂₂ = -3.729 521 9382 E+04
- b₂₃ = 1.261 473 5899 E+09
- b₂₄ = -6.474 220 0070 E+02
- b₂₅ = 1.236 245 0399 E+05
- b₂₆ = -1.569 919 6293 E+00
- b₂₇ = -5.184 893 2204 E+05
- b₂₈ = -8.139 632 1392 E-02
- b₂₉ = 3.032 516 8842 E+01
- b₃₀ = 1.339 904 2297 E-04
- b₃₁ = -1.585 619 2849 E-01
- b₃₂ = 9.067 958 3743 E+00

Ideal Gas Heat Capacity Equation (at constant pressure):

$$C_p^o \text{ (J/mole} \cdot \text{K)} = cp1 + cp2 T + cp3 T^2$$

cp1 = 1.94006 E+01 cp3 = -1.29665 E-04
 cp2 = 2.58531 E-01 R = 8.314471 J/mole · K
 MW = 102.03

Properties calculated in SI units from the equation and constants listed above can be converted to I/P units using the conversion factors shown below. Please note that in converting enthalpy and entropy from SI to I/P units, a change in reference states must be included (from H = 200 and S = 1 at 0°C for SI units to H = 0 and S = 0 at -40°C for I/P units). In the conversion equation below, H (ref) and S (ref) are the saturated liquid enthalpy and entropy at -40°C. For HFC-134a, H (ref) = 148.4 kJ/kg and S (ref) = 0.7967 kJ/kg · K.

- P (psia) = P (kPa) · 0.14504
- T (°F) = (T[°C] · 1.8) + 32
- D (lb/ft³) = D (kg/m³) · 0.062428
- V (ft³/lb) = V (m³/kg) · 16.018
- H (Btu/lb) = [H (kJ/kg) - H (ref)] · 0.43021
- S (Btu/lb · °R) = [S (kJ/kg · K) - S (ref)] · 0.23901
- C_p (Btu/lb · °F) = C_p (kJ/kg · K) · 0.23901
- C_v (Btu/lb · °F) = C_v (kJ/kg · K) · 0.23901
- v_s (ft/sec) = v_s (m/sec) · 3.2808

2. Martin-Hou Equation of State (fit from MBWR data)

As previously stated, the thermodynamic properties presented in these tables are based on the MBWR equation of state. Coefficients for the Martin-Hou equation of state are presented below for the convenience of those who may have existing computer programs based on this equation of state. While not as accurate as the data from the MBWR equation of state, particularly in the superheated region, data calculated using these Martin-Hou coefficients should be sufficient for most engineering calculations.

$$P = RT/(V-b) + \sum_{i=2}^5 (A_i + B_i T + C_i \exp(-kT/T_c))/(V-b)^i$$

For SI units

T and T_c are in K = °C + 273.15, V is in m³/kg, and P is in kPa

R = 0.0815 kJ/kg · K

b, A_i, B_i, C_i, k are constants:

A ₂ = -8.909485 E-02	A ₄ = 1.778071 E-05
B ₂ = 4.408654 E-05	B ₄ = -4.016976 E-08
C ₂ = -2.074834 E+00	C ₄ = -2.977911 E-04
A ₃ = -1.016882 E-03	A ₅ = -7.481440 E-08
B ₃ = 2.574527 E-06	B ₅ = 1.670285 E-10
C ₃ = 2.142829 E-02	C ₅ = 1.255922 E-06
b = 3.755677 E-04	k = 4.599967

For I/P units

T and T_c are in $^{\circ}\text{R} = ^{\circ}\text{F} + 459.67$, V is in ft^3/lb , and P is in psia

$$R = 0.1052 \text{ (psia)(ft}^3\text{)/lb} \cdot ^{\circ}\text{R}$$

b, A_i , B_i , C_i , k are constants:

$$A_2 = -3.315708 \text{ E}+00 \quad A_4 = 1.697907 \text{ E}-01$$

$$B_2 = 9.115011 \text{ E}-04 \quad B_4 = -2.131040 \text{ E}-04$$

$$C_2 = -7.721597 \text{ E}+01 \quad C_4 = -2.843653 \text{ E}+00$$

$$A_3 = -6.061984 \text{ E}-01 \quad A_5 = -1.144381 \text{ E}-02$$

$$B_3 = 8.526469 \text{ E}-04 \quad B_5 = 1.419396 \text{ E}-05$$

$$C_3 = 1.277414 \text{ E}+01 \quad C_5 = 1.921091 \text{ E}-01$$

$$b = 6.016014 \text{ E}-03 \quad k = 4.599967 \text{ E}+00$$

Ideal Gas Heat Capacity (at constant volume):

$$C_v^{\circ} = a + bT + cT^2 + dT^3 + f/T^2$$

For SI units

$$C_v^{\circ} = \text{kJ/kg} \cdot \text{K}$$

T is in K = $^{\circ}\text{C} + 273.15$

a, b, c, d, f are constants:

$$a = 3.154856 \text{ E}+00 \quad d = -3.754497 \text{ E}-08$$

$$b = -1.656054 \text{ E}-02 \quad f = -3.023189 \text{ E}+04$$

$$c = 4.353378 \text{ E}-05$$

For I/P units

$$C_v^{\circ} = \text{Btu/lb} \cdot ^{\circ}\text{R}$$

T is in $^{\circ}\text{R} = ^{\circ}\text{F} + 459.67$

a, b, c, d, f are constants:

$$a = 7.540287 \text{ E}-01 \quad d = -1.538660 \text{ E}-09$$

$$b = -2.198925 \text{ E}-03 \quad f = -2.341093 \text{ E}+04$$

$$c = 3.211365 \text{ E}-06$$

3. Vapor Pressure

$$\log_{10} P_{\text{sat}} = A + B/T + C \log_{10} T + D T + E ([F-T]/T) \log_{10} (F-T)$$

For SI units

T is in K = $^{\circ}\text{C} + 273.15$ and P is in kPa

A, B, C, D, E, F are constants:

$$A = 4.069889 \text{ E}+01 \quad D = 7.616005 \text{ E}-03$$

$$B = -2.362540 \text{ E}+03 \quad E = 2.342564 \text{ E}-01$$

$$C = -1.306883 \text{ E}+01 \quad F = 3.761111 \text{ E}+02$$

For I/P units

T is in $^{\circ}\text{R} = ^{\circ}\text{F} + 459.67$ and P is in psia

A, B, C, D, E, F are constants:

$$A = 4.325629 \text{ E}+01 \quad D = 4.231114 \text{ E}-03$$

$$B = -4.293056 \text{ E}+03 \quad E = 2.342564 \text{ E}-01$$

$$C = -1.306883 \text{ E}+01 \quad F = 6.770000 \text{ E}+02$$

4. Density of the Saturated Liquid

$$d_f = A_f + B_f (1-T_r)^{(1/3)} + C_f (1-T_r)^{(2/3)} + D_f (1-T_r) + E_f (1-T_r)^{(4/3)}$$

For SI units

$T_r = T/T_c$, both in K = $^{\circ}\text{C} + 273.15$ and d_f is in kg/m^3

A_f , B_f , C_f , D_f , E_f are constants:

$$A_f = 5.281464 \text{ E}+02 \quad D_f = -9.491172 \text{ E}+02$$

$$B_f = 7.551834 \text{ E}+02 \quad E_f = 5.935660 \text{ E}+02$$

$$C_f = 1.028676 \text{ E}+03$$

For I/P units

$T_r = T/T_c$, both in $^{\circ}\text{R} = ^{\circ}\text{F} + 459.67$ and d_f is in lb/ft^3

A_f , B_f , C_f , D_f , E_f are constants:

$$A_f = 3.297110 \text{ E}+01 \quad D_f = -5.925145 \text{ E}+01$$

$$B_f = 4.714456 \text{ E}+01 \quad E_f = 3.705512 \text{ E}+01$$

$$C_f = 6.421816 \text{ E}+01$$

TABLE 1
HFC-134a Saturation Properties—Temperature Table

TEMP. °C	PRESSURE kPa (abs)	VOLUME m ³ /kg		DENSITY kg/m ³		ENTHALPY kJ/kg			ENTROPY kJ/(kg)(K)		TEMP. °C
		LIQUID v _f	VAPOR v _g	LIQUID 1/v _f	VAPOR 1/v _g	LIQUID h _f	LATENT h _{fg}	VAPOR h _g	LIQUID s _f	VAPOR s _g	
-100	0.57	0.0006	25.0000	1580.5	0.040	77.3	259.9	337.2	0.4448	1.9460	-100
-99	0.63	0.0006	22.7273	1577.8	0.044	78.4	259.4	337.8	0.4514	1.9407	-99
-98	0.70	0.0006	20.4082	1575.0	0.049	79.6	258.8	338.4	0.4581	1.9356	-98
-97	0.77	0.0006	18.5185	1572.3	0.054	80.7	258.2	339.0	0.4646	1.9306	-97
-96	0.86	0.0006	16.9492	1569.5	0.059	81.9	257.7	339.6	0.4711	1.9257	-96
-95	0.95	0.0006	15.3846	1566.8	0.065	83.0	257.1	340.1	0.4776	1.9209	-95
-94	1.04	0.0006	13.8889	1564.1	0.072	84.2	256.6	340.7	0.4841	1.9161	-94
-93	1.15	0.0006	12.6582	1561.3	0.079	85.3	256.0	341.3	0.4905	1.9115	-93
-92	1.27	0.0006	11.6279	1558.6	0.086	86.5	255.4	341.9	0.4968	1.9070	-92
-91	1.40	0.0006	10.6383	1555.8	0.094	87.6	254.9	342.5	0.5032	1.9025	-91
-90	1.53	0.0006	9.7087	1553.1	0.103	88.8	254.3	343.1	0.5095	1.8982	-90
-89	1.68	0.0006	8.9286	1550.4	0.112	89.9	253.8	343.7	0.5158	1.8939	-89
-88	1.84	0.0006	8.1967	1547.6	0.122	91.1	253.2	344.3	0.5220	1.8898	-88
-87	2.02	0.0006	7.5188	1544.9	0.133	92.3	252.7	344.9	0.5282	1.8857	-87
-86	2.20	0.0006	6.8966	1542.1	0.145	93.4	252.1	345.5	0.5344	1.8817	-86
-85	2.41	0.0006	6.3291	1539.4	0.158	94.6	251.6	346.2	0.5406	1.8778	-85
-84	2.63	0.0007	5.8480	1536.7	0.171	95.7	251.0	346.8	0.5467	1.8739	-84
-83	2.86	0.0007	5.4054	1533.9	0.185	96.9	250.5	347.4	0.5528	1.8702	-83
-82	3.11	0.0007	4.9751	1531.2	0.201	98.0	249.9	348.0	0.5589	1.8665	-82
-81	3.39	0.0007	4.6083	1528.5	0.217	99.2	249.4	348.6	0.5650	1.8629	-81
-80	3.68	0.0007	4.2553	1525.7	0.235	100.4	248.8	349.2	0.5710	1.8594	-80
-79	3.99	0.0007	3.9526	1523.0	0.253	101.5	248.3	349.8	0.5770	1.8559	-79
-78	4.33	0.0007	3.6630	1520.2	0.273	102.7	247.7	350.4	0.5830	1.8525	-78
-77	4.69	0.0007	3.3898	1517.5	0.295	103.9	247.2	351.1	0.5890	1.8492	-77
-76	5.07	0.0007	3.1546	1514.8	0.317	105.0	246.6	351.7	0.5949	1.846	-76
-75	5.48	0.0007	2.9326	1512.0	0.341	106.2	246.1	352.3	0.6009	1.8428	-75
-74	5.92	0.0007	2.7248	1509.3	0.367	107.4	245.5	352.9	0.6068	1.8397	-74
-73	6.39	0.0007	2.5381	1506.5	0.394	108.6	245.0	353.5	0.6126	1.8366	-73
-72	6.89	0.0007	2.3641	1503.8	0.423	109.7	244.4	354.2	0.6185	1.8336	-72
-71	7.42	0.0007	2.2075	1501.0	0.453	110.9	243.9	354.8	0.6243	1.8307	-71
-70	7.98	0.0007	2.0576	1498.3	0.486	112.1	243.3	355.4	0.6302	1.8279	-70
-69	8.58	0.0007	1.9231	1495.5	0.520	113.3	242.8	356.0	0.6360	1.8251	-69
-68	9.22	0.0007	1.7986	1492.8	0.556	114.5	242.2	356.6	0.6417	1.8223	-68
-67	9.89	0.0007	1.6835	1490.0	0.594	115.6	241.6	357.3	0.6475	1.8196	-67
-66	10.61	0.0007	1.5773	1487.3	0.634	116.8	241.1	357.9	0.6532	1.817	-66
-65	11.37	0.0007	1.4771	1484.5	0.677	118.0	240.5	358.5	0.6590	1.8144	-65
-64	12.18	0.0007	1.3850	1481.8	0.722	119.2	239.9	359.2	0.6647	1.8119	-64
-63	13.03	0.0007	1.3004	1479.0	0.769	120.4	239.4	359.8	0.6704	1.8095	-63
-62	13.93	0.0007	1.2210	1476.3	0.819	121.6	238.8	360.4	0.6760	1.8071	-62
-61	14.88	0.0007	1.1481	1473.5	0.871	122.8	238.2	361.0	0.6817	1.8047	-61
-60	15.89	0.0007	1.0799	1470.7	0.926	124.0	237.7	361.7	0.6873	1.8024	-60
-59	16.95	0.0007	1.0163	1468.0	0.984	125.2	237.1	362.3	0.6929	1.8001	-59
-58	18.07	0.0007	0.9579	1465.2	1.044	126.4	236.5	362.9	0.6985	1.7979	-58
-57	19.25	0.0007	0.9025	1462.4	1.108	127.6	236.0	363.6	0.7041	1.7958	-57
-56	20.49	0.0007	0.8511	1459.6	1.175	128.8	235.4	364.2	0.7097	1.7937	-56
-55	21.80	0.0007	0.8032	1456.9	1.245	130.0	234.8	364.8	0.7152	1.7916	-55
-54	23.17	0.0007	0.7587	1454.1	1.318	131.2	234.2	365.4	0.7208	1.7896	-54
-53	24.62	0.0007	0.7168	1451.3	1.395	132.4	233.6	366.1	0.7263	1.7876	-53
-52	26.14	0.0007	0.6775	1448.5	1.476	133.7	233.1	366.7	0.7318	1.7857	-52
-51	27.73	0.0007	0.6410	1445.7	1.560	134.9	232.5	367.3	0.7373	1.7838	-51
-50	29.41	0.0007	0.6068	1442.9	1.648	136.1	231.9	368.0	0.7428	1.7819	-50
-49	31.16	0.0007	0.5747	1440.1	1.740	137.3	231.3	368.6	0.7482	1.7801	-49
-48	33.00	0.0007	0.5447	1437.3	1.836	138.5	230.7	369.2	0.7537	1.7783	-48
-47	34.93	0.0007	0.5165	1434.5	1.936	139.8	230.1	369.9	0.7591	1.7766	-47
-46	36.95	0.0007	0.4902	1431.6	2.040	141.0	229.5	370.5	0.7645	1.7749	-46
-45	39.06	0.0007	0.4653	1428.8	2.149	142.2	228.9	371.1	0.7699	1.7732	-45
-44	41.27	0.0007	0.4419	1426.0	2.263	143.5	228.3	371.8	0.7753	1.7716	-44
-43	43.58	0.0007	0.4198	1423.2	2.382	144.7	227.7	372.4	0.7806	1.77	-43
-42	45.99	0.0007	0.3992	1420.3	2.505	145.9	227.1	373.0	0.7860	1.7685	-42
-41	48.51	0.0007	0.3798	1417.5	2.633	147.2	226.5	373.7	0.7913	1.767	-41

TABLE 1 (continued)
HFC-134a Saturation Properties—Temperature Table

TEMP. °C	PRESSURE kPa (abs)	VOLUME m ³ /kg		DENSITY kg/m ³		ENTHALPY kJ/kg			ENTROPY kJ/(kg)(K)		TEMP. °C
		LIQUID v _f	VAPOR v _g	LIQUID 1/v _f	VAPOR 1/v _g	LIQUID h _f	LATENT h _{fg}	VAPOR h _g	LIQUID s _f	VAPOR s _g	
-40	51.14	0.0007	0.3614	1414.6	2.767	148.4	225.9	374.3	0.7967	1.7655	-40
-39	53.88	0.0007	0.3441	1411.8	2.906	149.6	225.3	374.9	0.8020	1.7641	-39
-38	56.74	0.0007	0.3279	1408.9	3.050	150.9	224.7	375.5	0.8073	1.7627	-38
-37	59.72	0.0007	0.3125	1406.0	3.200	152.1	224.0	376.2	0.8126	1.7613	-37
-36	62.83	0.0007	0.2980	1403.1	3.356	153.4	223.4	376.8	0.8178	1.7599	-36
-35	66.07	0.0007	0.2843	1400.2	3.518	154.6	222.8	377.4	0.8231	1.7586	-35
-34	69.43	0.0007	0.2713	1397.4	3.686	155.9	222.2	378.1	0.8283	1.7573	-34
-33	72.93	0.0007	0.2590	1394.5	3.861	157.1	221.5	378.7	0.8336	1.7561	-33
-32	76.58	0.0007	0.2474	1391.5	4.042	158.4	220.9	379.3	0.8388	1.7548	-32
-31	80.36	0.0007	0.2365	1388.6	4.229	159.7	220.3	379.9	0.8440	1.7536	-31
-30	84.29	0.0007	0.2260	1385.7	4.424	160.9	219.6	380.6	0.8492	1.7525	-30
-29	88.37	0.0007	0.2162	1382.8	4.625	162.2	219.0	381.2	0.8544	1.7513	-29
-28	92.61	0.0007	0.2069	1379.8	4.833	163.5	218.3	381.8	0.8595	1.7502	-28
-27	97.02	0.0007	0.1981	1376.9	5.049	164.7	217.7	382.4	0.8647	1.7491	-27
-26	101.58	0.0007	0.1896	1373.9	5.273	166.0	217.1	383.1	0.8698	1.7481	-26
-25	106.32	0.0007	0.1817	1371.0	5.504	167.3	216.4	383.7	0.8750	1.747	-25
-24	111.22	0.0007	0.1741	1368.0	5.743	168.6	215.7	384.3	0.8801	1.746	-24
-23	116.31	0.0007	0.1669	1365.0	5.991	169.8	215.1	384.9	0.8852	1.745	-23
-22	121.57	0.0007	0.1601	1362.0	6.247	171.1	214.4	385.5	0.8903	1.744	-22
-21	127.02	0.0007	0.1536	1359.0	6.511	172.4	213.7	386.2	0.8954	1.7431	-21
-20	132.67	0.0007	0.1474	1356.0	6.784	173.7	213.1	386.8	0.9005	1.7422	-20
-19	138.50	0.0007	0.1415	1353.0	7.066	175.0	212.4	387.4	0.9055	1.7413	-19
-18	144.54	0.0007	0.1359	1349.9	7.357	176.3	211.7	388.0	0.9106	1.7404	-18
-17	150.78	0.0007	0.1306	1346.9	7.658	177.6	211.0	388.6	0.9157	1.7395	-17
-16	157.23	0.0007	0.1255	1343.8	7.968	178.9	210.4	389.2	0.9207	1.7387	-16
-15	163.90	0.0007	0.1207	1340.8	8.288	180.2	209.7	389.8	0.9257	1.7379	-15
-14	170.78	0.0007	0.1160	1337.7	8.618	181.5	209.0	390.4	0.9307	1.7371	-14
-13	177.89	0.0007	0.1116	1334.6	8.958	182.8	208.3	391.1	0.9357	1.7363	-13
-12	185.22	0.0008	0.1074	1331.5	9.309	184.1	207.6	391.7	0.9407	1.7356	-12
-11	192.79	0.0008	0.1034	1328.4	9.671	185.4	206.9	392.3	0.9457	1.7348	-11
-10	200.60	0.0008	0.0996	1325.3	10.044	186.7	206.2	392.9	0.9507	1.7341	-10
-9	208.65	0.0008	0.0959	1322.1	10.428	188.0	205.4	393.5	0.9557	1.7334	-9
-8	216.95	0.0008	0.0924	1319.0	10.823	189.3	204.7	394.1	0.9606	1.7327	-8
-7	225.50	0.0008	0.0890	1315.8	11.231	190.7	204.0	394.7	0.9656	1.7321	-7
-6	234.32	0.0008	0.0858	1312.6	11.650	192.0	203.3	395.3	0.9705	1.7314	-6
-5	243.39	0.0008	0.0828	1309.4	12.082	193.3	202.5	395.9	0.9755	1.7308	-5
-4	252.74	0.0008	0.0798	1306.2	12.526	194.6	201.8	396.4	0.9804	1.7302	-4
-3	262.36	0.0008	0.0770	1303.0	12.983	196.0	201.1	397.0	0.9853	1.7295	-3
-2	272.26	0.0008	0.0743	1299.8	13.454	197.3	200.3	397.6	0.9902	1.729	-2
-1	282.45	0.0008	0.0718	1296.5	13.937	198.7	199.6	398.2	0.9951	1.7284	-1
0	292.93	0.0008	0.0693	1293.3	14.435	200.0	198.8	398.8	1.0000	1.7278	0
1	303.70	0.0008	0.0669	1290.0	14.946	201.3	198.0	399.4	1.0049	1.7273	1
2	314.77	0.0008	0.0646	1286.7	15.472	202.7	197.3	400.0	1.0098	1.7267	2
3	326.16	0.0008	0.0624	1283.4	16.013	204.0	196.5	400.5	1.0146	1.7262	3
4	337.85	0.0008	0.0604	1280.1	16.569	205.4	195.7	401.1	1.0195	1.7257	4
5	349.87	0.0008	0.0583	1276.7	17.140	206.8	194.9	401.7	1.0244	1.7252	5
6	362.21	0.0008	0.0564	1273.4	17.726	208.1	194.2	402.3	1.0292	1.7247	6
7	374.88	0.0008	0.0546	1270.0	18.329	209.5	193.4	402.8	1.0340	1.7242	7
8	387.88	0.0008	0.0528	1266.6	18.948	210.8	192.6	403.4	1.0389	1.7238	8
9	401.23	0.0008	0.0511	1263.2	19.583	212.2	191.8	404.0	1.0437	1.7233	9
10	414.92	0.0008	0.0494	1259.8	20.236	213.6	190.9	404.5	1.0485	1.7229	10
11	428.97	0.0008	0.0478	1256.3	20.906	215.0	190.1	405.1	1.0533	1.7224	11
12	443.37	0.0008	0.0463	1252.9	21.594	216.4	189.3	405.6	1.0582	1.722	12
13	458.11	0.0008	0.0448	1249.4	22.301	217.7	188.5	406.2	1.0630	1.7216	13
14	473.25	0.0008	0.0434	1245.9	23.026	219.1	187.6	406.8	1.0678	1.7212	14
15	488.78	0.0008	0.0421	1242.3	23.770	220.5	186.8	407.3	1.0726	1.7208	15
16	504.68	0.0008	0.0408	1238.8	24.533	221.9	185.9	407.8	1.0773	1.7204	16
17	520.98	0.0008	0.0395	1235.2	25.317	223.3	185.1	408.4	1.0821	1.72	17
18	537.67	0.0008	0.0383	1231.6	26.121	224.7	184.2	408.9	1.0869	1.7196	18
19	554.76	0.0008	0.0371	1228.0	26.945	226.1	183.3	409.5	1.0917	1.7192	19

TABLE 1 (continued)
HFC-134a Saturation Properties—Temperature Table

TEMP. °C	PRESSURE kPa (abs)	VOLUME m ³ /kg		DENSITY kg/m ³		ENTHALPY kJ/kg			ENTROPY kJ/(kg)(K)		TEMP. °C
		LIQUID v _l	VAPOR v _g	LIQUID 1/v _l	VAPOR 1/v _g	LIQUID h _l	LATENT h _{fg}	VAPOR h _g	LIQUID s _l	VAPOR s _g	
20	572.25	0.0008	0.0360	1224.4	27.791	227.5	182.5	410.0	1.0964	1.7189	20
21	590.16	0.0008	0.0349	1220.7	28.659	228.9	181.6	410.5	1.1012	1.7185	21
22	608.49	0.0008	0.0338	1217.0	29.549	230.4	180.7	411.0	1.1060	1.7182	22
23	627.25	0.0008	0.0328	1213.3	30.462	231.8	179.8	411.6	1.1107	1.7178	23
24	646.44	0.0008	0.0318	1209.6	31.399	233.2	178.9	412.1	1.1155	1.7175	24
25	666.06	0.0008	0.0309	1205.9	32.359	234.6	178.0	412.6	1.1202	1.7171	25
26	686.13	0.0008	0.0300	1202.1	33.344	236.1	177.0	413.1	1.1250	1.7168	26
27	706.66	0.0008	0.0291	1198.3	34.354	237.5	176.1	413.6	1.1297	1.7165	27
28	727.64	0.0008	0.0283	1194.4	35.389	238.9	175.2	414.1	1.1345	1.7161	28
29	749.04	0.0008	0.0274	1190.6	36.451	240.4	174.2	414.6	1.1392	1.7158	29
30	771.02	0.0008	0.0266	1186.7	37.540	241.8	173.3	415.1	1.1439	1.7155	30
31	793.43	0.0008	0.0259	1182.8	38.657	243.3	172.3	415.6	1.1487	1.7151	31
32	816.28	0.0008	0.0251	1178.8	39.802	244.8	171.3	416.1	1.1534	1.7148	32
33	839.66	0.0009	0.0244	1174.9	40.975	246.2	170.3	416.6	1.1581	1.7145	33
34	863.53	0.0009	0.0237	1170.8	42.179	247.7	169.3	417.0	1.1628	1.7142	34
35	887.91	0.0009	0.0230	1166.8	43.413	249.2	168.3	417.5	1.1676	1.7138	35
36	912.80	0.0009	0.0224	1162.7	44.679	250.6	167.3	418.0	1.1723	1.7135	36
37	938.20	0.0009	0.0218	1158.6	45.977	252.1	166.3	418.4	1.1770	1.7132	37
38	964.14	0.0009	0.0211	1154.5	47.308	253.6	165.3	418.9	1.1817	1.7129	38
39	990.60	0.0009	0.0205	1150.3	48.672	255.1	164.2	419.3	1.1864	1.7125	39
40	1017.61	0.0009	0.0200	1146.1	50.072	256.6	163.2	419.8	1.1912	1.7122	40
41	1045.16	0.0009	0.0194	1141.9	51.508	258.1	162.1	420.2	1.1959	1.7119	41
42	1073.26	0.0009	0.0189	1137.6	52.980	259.6	161.0	420.6	1.2006	1.7115	42
43	1101.93	0.0009	0.0184	1133.3	54.490	261.1	159.9	421.1	1.2053	1.7112	43
44	1131.16	0.0009	0.0178	1128.9	56.040	262.7	158.8	421.5	1.2101	1.7108	44
45	1161.01	0.0009	0.0174	1124.5	57.630	264.2	157.7	421.9	1.2148	1.7105	45
46	1191.41	0.0009	0.0169	1120.0	59.261	265.7	156.6	422.3	1.2195	1.7101	46
47	1222.41	0.0009	0.0164	1115.6	60.934	267.3	155.4	422.7	1.2242	1.7097	47
48	1253.95	0.0009	0.0160	1111.0	62.652	268.8	154.3	423.1	1.2290	1.7093	48
49	1286.17	0.0009	0.0155	1106.4	64.415	270.4	153.1	423.5	1.2337	1.709	49
50	1319.00	0.0009	0.0151	1101.8	66.225	271.9	151.9	423.8	1.2384	1.7086	50
51	1352.44	0.0009	0.0147	1097.1	68.084	273.5	150.7	424.2	1.2432	1.7082	51
52	1386.52	0.0009	0.0143	1092.4	69.992	275.1	149.5	424.6	1.2479	1.7077	52
53	1421.23	0.0009	0.0139	1087.6	71.952	276.6	148.3	424.9	1.2527	1.7073	53
54	1456.58	0.0009	0.0135	1082.8	73.966	278.2	147.0	425.3	1.2574	1.7069	54
55	1492.59	0.0009	0.0132	1077.9	76.035	279.8	145.8	425.6	1.2622	1.7064	55
56	1529.26	0.0009	0.0128	1072.9	78.162	281.4	144.5	425.9	1.2670	1.7059	56
57	1566.61	0.0009	0.0124	1067.9	80.348	283.0	143.2	426.2	1.2717	1.7055	57
58	1604.63	0.0009	0.0121	1062.8	82.596	284.6	141.9	426.5	1.2765	1.705	58
59	1643.35	0.0009	0.0118	1057.7	84.908	286.3	140.5	426.8	1.2813	1.7044	59
60	1682.76	0.0010	0.0115	1052.5	87.287	287.9	139.2	427.1	1.2861	1.7039	60
61	1722.88	0.0010	0.0111	1047.2	89.735	289.5	137.8	427.4	1.2909	1.7033	61
62	1763.72	0.0010	0.0108	1041.8	92.255	291.2	136.4	427.6	1.2957	1.7028	62
63	1805.28	0.0010	0.0105	1036.4	94.851	292.9	135.0	427.9	1.3006	1.7021	63
64	1847.47	0.0010	0.0103	1030.9	97.526	294.5	133.6	428.1	1.3054	1.7015	64
65	1890.54	0.0010	0.0100	1025.3	100.283	296.2	132.1	428.3	1.3102	1.7009	65
66	1934.36	0.0010	0.0097	1019.6	103.125	297.9	130.6	428.5	1.3151	1.7002	66
67	1978.94	0.0010	0.0094	1013.8	106.058	299.6	129.1	428.7	1.3200	1.6995	67
68	2024.28	0.0010	0.0092	1008.0	109.085	301.3	127.5	428.8	1.3249	1.6987	68
69	2070.42	0.0010	0.0089	1002.0	112.212	303.0	126.0	429.0	1.3298	1.6979	69
70	2117.34	0.0010	0.0087	995.9	115.442	304.8	124.4	429.1	1.3347	1.6971	70
71	2165.08	0.0010	0.0084	989.7	118.783	306.5	122.7	429.2	1.3397	1.6963	71
72	2213.63	0.0010	0.0082	983.4	122.239	308.3	121.1	429.3	1.3446	1.6954	72
73	2263.01	0.0010	0.0079	977.0	125.818	310.1	119.4	429.4	1.3496	1.6945	73
74	2313.23	0.0010	0.0077	970.4	129.527	311.8	117.6	429.5	1.3547	1.6935	74
75	2364.31	0.0010	0.0075	963.7	133.373	313.7	115.8	429.5	1.3597	1.6924	75
76	2416.25	0.0010	0.0073	956.9	137.366	315.5	114.0	429.5	1.3648	1.6913	76
77	2469.08	0.0011	0.0071	949.9	141.514	317.3	112.2	429.5	1.3699	1.6902	77
78	2522.79	0.0011	0.0069	942.7	145.830	319.2	110.3	429.4	1.3750	1.689	78
79	2577.42	0.0011	0.0067	935.4	150.324	321.0	108.3	429.3	1.3801	1.6877	79

TABLE 1 (continued)
HFC-134a Saturation Properties—Temperature Table

TEMP. °C	PRESSURE kPa (abs)	VOLUME m ³ /kg		DENSITY kg/m ³		ENTHALPY kJ/kg			ENTROPY kJ/(kg)(K)		TEMP. °C
		LIQUID v _f	VAPOR v _g	LIQUID 1/v _f	VAPOR 1/v _g	LIQUID h _f	LATENT h _{fg}	VAPOR h _g	LIQUID s _f	VAPOR s _g	
80	2632.97	0.0011	0.0065	927.8	155.010	322.9	106.3	429.2	1.3854	1.6863	80
81	2689.46	0.0011	0.0063	920.1	159.904	324.9	104.2	429.1	1.3906	1.6849	81
82	2746.90	0.0011	0.0061	912.1	165.022	326.8	102.1	428.9	1.3959	1.6834	82
83	2805.31	0.0011	0.0059	903.9	170.383	328.8	99.9	428.7	1.4012	1.6818	83
84	2864.70	0.0011	0.0057	895.5	176.010	330.7	97.7	428.4	1.4066	1.68	84
85	2925.11	0.0011	0.0055	886.7	181.929	332.8	95.3	428.1	1.4121	1.6782	85
86	2986.54	0.0011	0.0053	877.6	188.169	334.8	92.9	427.7	1.4176	1.6762	86
87	3049.01	0.0012	0.0051	868.2	194.766	336.9	90.4	427.3	1.4232	1.6741	87
88	3112.55	0.0012	0.0050	858.4	201.761	339.0	87.7	426.8	1.4289	1.6719	88
89	3177.10	0.0012	0.0048	848.1	209.206	341.2	85.0	426.2	1.4347	1.6694	89
90	3242.87	0.0012	0.0046	837.3	217.162	343.4	82.1	425.5	1.4406	1.6668	90
91	3309.78	0.0012	0.0044	826.0	225.706	345.7	79.1	424.8	1.4466	1.6639	91
92	3377.85	0.0012	0.0043	814.0	234.936	348.0	75.9	423.9	1.4528	1.6607	92
93	3447.13	0.0012	0.0041	801.1	244.978	350.4	72.5	422.9	1.4592	1.6572	93
94	3517.65	0.0013	0.0039	787.4	256.005	353.0	68.9	421.8	1.4658	1.6533	94
95	3589.44	0.0013	0.0037	772.3	268.255	355.6	64.9	420.5	1.4727	1.6489	95
96	3662.57	0.0013	0.0035	755.8	282.079	358.4	60.5	418.9	1.4799	1.6439	96
97	3737.09	0.0014	0.0034	737.1	298.029	361.3	55.7	417.0	1.4877	1.6381	97
98	3813.08	0.0014	0.0032	715.4	317.065	364.6	50.0	414.6	1.4963	1.6311	98
99	3890.64	0.0015	0.0029	688.6	341.133	368.4	43.2	411.5	1.5061	1.6221	99
100	3969.94	0.0015	0.0027	651.4	375.503	373.2	33.8	407.0	1.5187	1.6092	100
101	4051.35	0.0018	0.0022	566.4	457.594	383.0	13.0	396.0	1.5447	1.5794	101

TABLE 2
HFC-134a Superheated Vapor—Constant Pressure Tables

v = Volume in m^3/kg H = Enthalpy in kJ/kg S = Entropy in $kJ/(kg)(K)$ v_s = Velocity of Sound in m/sec
 c_p = Heat Capacity at Constant Pressure in $kJ/(kg)(^\circ C)$ Cp/Cv = Heat Capacity Ratio (Dimensionless)

TEMP °C	PRESSURE = 10.00 kPa (abs)						SAT LIQ SAT VAP	PRESSURE = 20.00 kPa (abs)						TEMP °C
	V	H	S	Cp	Cp/Cv	v_s		V	H	S	Cp	Cp/Cv	v_s	
-66.85	0.00067	115.8	0.6484	1.1863	1.5234	938.7		0.00068	128.3	0.7075	1.2068	1.5130	887.7	-56.39
-66.85	1.66667	357.4	1.8192	0.6695	1.1477	137.7		0.87032	363.9	1.7945	0.6968	1.1466	140.3	-56.39
-65	1.68067	358.6	1.8252	0.6727	1.1465	138.3		—	—	—	—	—	—	-65
-60	1.72414	362.0	1.8413	0.6816	1.1434	139.9		—	—	—	—	—	—	-60
-55	1.76678	365.4	1.8572	0.6906	1.1405	141.4		0.87642	364.9	1.7989	0.6990	1.1456	140.7	-55
-50	1.80832	368.9	1.8730	0.6996	1.1378	142.9		0.89767	368.4	1.8149	0.7071	1.1423	142.3	-50
-45	1.84843	372.4	1.8886	0.7087	1.1352	144.4		0.91912	372.0	1.8306	0.7154	1.1392	143.9	-45
-40	1.89036	376.0	1.9040	0.7178	1.1328	145.9		0.93985	375.6	1.8462	0.7238	1.1364	145.4	-40
-35	1.93050	379.6	1.9193	0.7269	1.1304	147.4		0.96061	379.2	1.8617	0.7323	1.1337	146.9	-35
-30	1.97239	383.3	1.9345	0.7360	1.1283	148.9		0.98232	382.9	1.8770	0.7409	1.1311	148.4	-30
-25	2.01207	387.0	1.9496	0.7451	1.1262	150.3		1.00301	386.6	1.8921	0.7495	1.1288	149.8	-25
-20	2.05339	390.7	1.9646	0.7541	1.1242	151.7		1.02354	390.4	1.9072	0.7582	1.1265	151.3	-20
-15	2.09644	394.5	1.9794	0.7632	1.1223	153.1		1.04493	394.2	1.9221	0.7669	1.1244	152.7	-15
-10	2.13675	398.3	1.9941	0.7722	1.1204	154.5		1.06496	398.1	1.9369	0.7756	1.1224	154.1	-10
-5	2.17865	402.2	2.0087	0.7813	1.1187	155.9		1.08578	402.0	1.9516	0.7843	1.1205	155.5	-5
0	2.21729	406.2	2.0233	0.7902	1.1170	157.2		1.10619	405.9	1.9661	0.7930	1.1186	156.9	0
5	2.26244	410.1	2.0377	0.7992	1.1154	158.6		1.12740	409.9	1.9806	0.8017	1.1169	158.3	5
10	2.30415	414.1	2.0520	0.8081	1.1139	159.9		1.14811	413.9	1.9950	0.8104	1.1152	159.6	10
15	2.34192	418.2	2.0662	0.8169	1.1124	161.2		1.16822	418.0	2.0092	0.8191	1.1136	161.0	15
20	2.38095	422.3	2.0803	0.8257	1.1109	162.6		1.18906	422.1	2.0234	0.8277	1.1121	162.3	20
25	2.42718	426.5	2.0944	0.8345	1.1095	163.9		1.20919	426.3	2.0375	0.8363	1.1106	163.6	25
30	2.46305	430.7	2.1083	0.8432	1.1082	165.1		1.23001	430.5	2.0514	0.8449	1.1092	164.9	30
35	2.50627	434.9	2.1222	0.8518	1.1069	166.4		1.25156	434.7	2.0653	0.8534	1.1078	166.2	35
40	2.54453	439.2	2.1360	0.8605	1.1056	167.7		1.27226	439.0	2.0791	0.8619	1.1065	167.5	40
45	2.59067	443.5	2.1497	0.8690	1.1044	168.9		1.29199	443.3	2.0929	0.8704	1.1052	168.7	45
50	2.63158	447.9	2.1633	0.8775	1.1033	170.2		1.31234	447.7	2.1065	0.8788	1.1040	170.0	50
55	2.67380	452.3	2.1768	0.8860	1.1021	171.4		1.33333	452.1	2.1200	0.8871	1.1028	171.2	55
60	2.71003	456.7	2.1903	0.8943	1.1010	172.7		1.35318	456.6	2.1335	0.8954	1.1017	172.5	60
65	2.75482	461.2	2.2037	0.9027	1.1000	173.9		1.37363	461.1	2.1469	0.9037	1.1006	173.7	65
70	2.79330	465.8	2.2170	0.9110	1.0989	175.1		1.39470	465.6	2.1603	0.9119	1.0995	174.9	70
75	2.83286	470.3	2.2302	0.9192	1.0979	176.3		1.41443	470.2	2.1735	0.9201	1.0984	176.1	75
80	2.87356	474.9	2.2434	0.9273	1.0969	177.5		1.43678	474.8	2.1867	0.9282	1.0974	177.3	80
85	2.91545	479.6	2.2565	0.9354	1.0960	178.7		1.45560	479.5	2.1998	0.9362	1.0965	178.5	85

TEMP °C	PRESSURE = 30.00 kPa (abs)						SAT LIQ SAT VAP	PRESSURE = 40.00 kPa (abs)						TEMP °C
	V	H	S	Cp	Cp/Cv	v_s		V	H	S	Cp	Cp/Cv	v_s	
-49.66	0.00069	136.5	0.7446	1.2205	1.5084	855.4		0.00070	142.8	0.7722	1.2311	1.5059	831.3	-44.57
-49.66	0.59559	368.2	1.7813	0.7154	1.1468	141.8		0.45496	371.4	1.7725	0.7301	1.1475	142.8	-44.57
-45	0.60901	371.5	1.7961	0.7224	1.1434	143.3		—	—	—	—	—	—	-45
-40	0.62344	375.2	1.8118	0.7300	1.1401	144.8		0.46490	374.8	1.7871	0.7364	1.1440	144.3	-40
-35	0.63735	378.8	1.8274	0.7379	1.1370	146.4		0.47574	378.5	1.8028	0.7437	1.1404	145.9	-35
-30	0.65189	382.6	1.8428	0.7459	1.1341	147.9		0.48662	382.2	1.8183	0.7511	1.1372	147.4	-30
-25	0.66578	386.3	1.8581	0.7541	1.1315	149.4		0.49727	386.0	1.8336	0.7587	1.1342	148.9	-25
-20	0.67981	390.1	1.8732	0.7623	1.1289	150.9		0.50787	389.8	1.8489	0.7665	1.1314	150.4	-20
-15	0.69396	393.9	1.8882	0.7707	1.1266	152.3		0.51867	393.6	1.8639	0.7745	1.1288	151.9	-15
-10	0.70771	397.8	1.9031	0.7790	1.1244	153.8		0.52910	397.5	1.8789	0.7825	1.1264	153.4	-10
-5	0.72202	401.7	1.9178	0.7874	1.1223	155.2		0.53967	401.5	1.8937	0.7906	1.1241	154.8	-5
0	0.73584	405.7	1.9324	0.7959	1.1203	156.6		0.55036	405.4	1.9083	0.7988	1.1219	156.2	0
5	0.74963	409.7	1.9470	0.8043	1.1184	158.0		0.56085	409.4	1.9229	0.8070	1.1199	157.7	5
10	0.76336	413.7	1.9614	0.8128	1.1166	159.3		0.57110	413.5	1.9374	0.8152	1.1180	159.0	10
15	0.77760	417.8	1.9757	0.8213	1.1149	160.7		0.58173	417.6	1.9517	0.8235	1.1161	160.4	15
20	0.79114	421.9	1.9899	0.8297	1.1132	162.0		0.59207	421.7	1.9659	0.8318	1.1144	161.8	20
25	0.80515	426.1	2.0040	0.8382	1.1117	163.4		0.60241	425.9	1.9801	0.8401	1.1128	163.1	25
30	0.81900	430.3	2.0180	0.8466	1.1102	164.7		0.61312	430.1	1.9941	0.8484	1.1112	164.4	30
35	0.83264	434.6	2.0319	0.8550	1.1087	166.0		0.62344	434.4	2.0081	0.8566	1.1097	165.7	35
40	0.84602	438.9	2.0457	0.8634	1.1073	167.3		0.63371	438.7	2.0219	0.8649	1.1082	167.0	40
45	0.85985	443.2	2.0595	0.8717	1.1060	168.5		0.64392	443.0	2.0357	0.8731	1.1068	168.3	45
50	0.87413	447.6	2.0731	0.8800	1.1047	169.8		0.65445	447.4	2.0494	0.8813	1.1055	169.6	50
55	0.88731	452.0	2.0867	0.8883	1.1035	171.1		0.66489	451.9	2.0630	0.8895	1.1042	170.9	55
60	0.90171	456.5	2.1002	0.8965	1.1023	172.3		0.67522	456.3	2.0765	0.8977	1.1030	172.1	60
65	0.91491	461.0	2.1136	0.9047	1.1012	173.5		0.68540	460.8	2.0899	0.9058	1.1018	173.4	65
70	0.92851	465.5	2.1270	0.9129	1.1001	174.8		0.69589	465.4	2.1033	0.9138	1.1006	174.6	70
75	0.94251	470.1	2.1402	0.9210	1.0990	176.0		0.70621	470.0	2.1165	0.9219	1.0995	175.8	75
80	0.95602	474.7	2.1534	0.9290	1.0979	177.2		0.71633	474.6	2.1297	0.9299	1.0985	177.0	80
85	0.96993	479.4	2.1665	0.9370	1.0969	178.4		0.72674	479.3	2.1429	0.9378	1.0974	178.2	85
90	0.98328	484.1	2.1796	0.9449	1.0960	179.6		0.73592	484.0	2.1559	0.9457	1.0964	179.4	90
95	0.99701	488.8	2.1925	0.9528	1.0950	180.7		0.74738	488.7	2.1689	0.9535	1.0954	180.6	95
100	1.01112	493.6	2.2054	0.9607	1.0941	181.9		0.75758	493.5	2.1818	0.9613	1.0945	181.8	100
105	1.02459	498.4	2.2183	0.9685	1.0932	183.1		0.76805	498.3	2.1947	0.9691	1.0936	183.0	105
110	—	—	—	—	—	—		0.77821	503.2	2.2074	0.9768	1.0927	184.1	110

TABLE 2 (continued)
HFC-134a Superheated Vapor—Constant Pressure Tables

V = Volume in m³/kg H = Enthalpy in kJ/kg S = Entropy in kJ/(kg)(K) v_s = Velocity of Sound in m/sec
 Cp = Heat Capacity at Constant Pressure in kJ/(kg)(°C) Cp/Cv = Heat Capacity Ratio (Dimensionless)

TEMP °C	PRESSURE = 50.00 kPa (abs)						SAT LIQ SAT VAP	PRESSURE = 60.00 kPa (abs)						TEMP °C
	V	H	S	Cp	Cp/Cv	v _s		V	H	S	Cp	Cp/Cv	v _s	
-40.43	0.00071	147.9	0.7944	1.2399	1.5046	811.8		0.00071	152.2	0.8130	1.2476	1.5040	795.3	-36.91
-40.43	0.36914	374.0	1.7661	0.7424	1.1483	143.6		0.31114	375.2	1.7611	0.7533	1.1493	144.2	-36.91
-40	0.36982	374.3	1.7675	0.7430	1.1480	143.7		—	—	—	—	—	—	-40
-35	0.37864	378.1	1.7833	0.7495	1.1440	145.3		0.31397	377.7	1.7672	0.7555	1.1477	144.8	-35
-30	0.38745	381.8	1.7990	0.7564	1.1404	146.9		0.32134	381.5	1.7830	0.7618	1.1436	146.4	-30
-25	0.39604	385.6	1.8144	0.7635	1.1370	148.5		0.32873	385.3	1.7986	0.7683	1.1400	148.0	-25
-20	0.40469	389.5	1.8297	0.7708	1.1340	150.0		0.33591	389.2	1.8140	0.7752	1.1366	149.6	-20
-15	0.41339	393.3	1.8449	0.7784	1.1311	151.5		0.34317	393.0	1.8292	0.7823	1.1334	151.1	-15
-10	0.42194	397.3	1.8599	0.7860	1.1284	153.0		0.35039	397.0	1.8443	0.7896	1.1306	152.6	-10
-5	0.43048	401.2	1.8748	0.7938	1.1260	154.5		0.35753	400.9	1.8592	0.7971	1.1279	154.1	-5
0	0.43898	405.2	1.8895	0.8017	1.1236	155.9		0.36470	404.9	1.8740	0.8047	1.1254	155.6	0
5	0.44743	409.2	1.9041	0.8097	1.1215	157.3		0.37189	409.0	1.8887	0.8124	1.1230	157.0	5
10	0.45579	413.3	1.9186	0.8177	1.1194	158.7		0.37893	413.1	1.9032	0.8202	1.1208	158.4	10
15	0.46425	417.4	1.9330	0.8257	1.1175	160.1		0.38595	417.2	1.9176	0.8280	1.1188	159.8	15
20	0.47259	421.5	1.9473	0.8338	1.1156	161.5		0.39308	421.3	1.9319	0.8359	1.1168	161.2	20
25	0.48100	425.7	1.9614	0.8420	1.1139	162.8		0.40000	425.5	1.9461	0.8439	1.1150	162.6	25
30	0.48948	430.0	1.9755	0.8501	1.1122	164.2		0.40700	429.8	1.9602	0.8519	1.1132	163.9	30
35	0.49776	434.2	1.9895	0.8582	1.1106	165.5		0.41408	434.1	1.9742	0.8599	1.1116	165.3	35
40	0.50607	438.5	2.0034	0.8664	1.1091	166.8		0.42105	438.4	1.9881	0.8679	1.1100	166.6	40
45	0.51440	442.9	2.0172	0.8745	1.1076	168.1		0.42808	442.7	2.0020	0.8759	1.1085	167.9	45
50	0.52274	447.3	2.0309	0.8826	1.1062	169.4		0.43497	447.1	2.0157	0.8839	1.1070	169.2	50
55	0.53107	451.7	2.0445	0.8907	1.1049	170.7		0.44189	451.6	2.0293	0.8919	1.1056	170.5	55
60	0.53937	456.2	2.0580	0.8988	1.1036	171.9		0.44883	456.1	2.0429	0.8999	1.1043	171.8	60
65	0.54765	460.7	2.0715	0.9068	1.1024	173.2		0.45579	460.6	2.0563	0.9079	1.1030	173.0	65
70	0.55586	465.3	2.0848	0.9148	1.1012	174.4		0.46275	465.1	2.0697	0.9158	1.1018	174.3	70
75	0.56402	469.9	2.0981	0.9228	1.1001	175.7		0.46970	469.7	2.0830	0.9237	1.1006	175.5	75
80	0.57241	474.5	2.1113	0.9307	1.0990	176.9		0.47642	474.4	2.0962	0.9316	1.0995	176.7	80
85	0.58072	479.2	2.1245	0.9386	1.0979	178.1		0.48356	479.1	2.1094	0.9394	1.0984	177.9	85
90	0.58893	483.9	2.1375	0.9464	1.0969	179.3		0.49020	483.8	2.1225	0.9472	1.0973	179.1	90
95	0.59737	488.6	2.1505	0.9543	1.0959	180.5		0.49727	488.5	2.1355	0.9550	1.0963	180.3	95
100	0.60533	493.4	2.1635	0.9620	1.0949	181.7		0.50403	493.3	2.1484	0.9627	1.0953	181.5	100
105	0.61387	498.3	2.1763	0.9697	1.0940	182.8		0.51099	498.2	2.1613	0.9703	1.0944	182.7	105
110	0.62189	503.1	2.1891	0.9774	1.0931	184.0		0.51787	503.0	2.1741	0.9780	1.0934	183.9	110
115	—	—	—	—	—	—		0.52466	507.9	2.1868	0.9855	1.0925	185.0	115

TEMP °C	PRESSURE = 70.00 kPa (abs)						SAT LIQ SAT VAP	PRESSURE = 80.00 kPa (abs)						TEMP °C
	V	H	S	Cp	Cp/Cv	v _s		V	H	S	Cp	Cp/Cv	v _s	
-33.83	0.00072	156.1	0.8292	1.2544	1.5038	781.0		0.00072	159.5	0.8435	1.2606	1.5038	768.3	-31.09
-33.83	0.26918	378.2	1.7571	0.7630	1.1504	144.6		0.23747	379.9	1.7538	0.7718	1.1515	145.0	-31.09
-30	0.27412	381.1	1.7693	0.7673	1.1470	145.9		0.23872	380.7	1.7572	0.7729	1.1505	145.4	-30
-25	0.28050	385.0	1.7850	0.7733	1.1430	147.6		0.24438	384.6	1.7730	0.7783	1.1460	147.1	-25
-20	0.28678	388.8	1.8004	0.7797	1.1392	149.1		0.24994	388.5	1.7886	0.7842	1.1420	148.7	-20
-15	0.29308	392.7	1.8158	0.7863	1.1359	150.7		0.25549	392.4	1.8040	0.7904	1.1383	150.3	-15
-10	0.29931	396.7	1.8309	0.7932	1.1327	152.2		0.26103	396.4	1.8192	0.7969	1.1349	151.9	-10
-5	0.30553	400.7	1.8459	0.8004	1.1298	153.8		0.26645	400.4	1.8343	0.8037	1.1318	153.4	-5
0	0.31172	404.7	1.8608	0.8077	1.1271	155.2		0.27196	404.5	1.8492	0.8107	1.1290	154.9	0
5	0.31786	408.8	1.8755	0.8151	1.1246	156.7		0.27732	408.5	1.8640	0.8179	1.1263	156.4	5
10	0.32394	412.9	1.8901	0.8227	1.1223	158.1		0.28273	412.6	1.8786	0.8252	1.1238	157.8	10
15	0.33003	417.0	1.9045	0.8303	1.1201	159.6		0.28810	416.8	1.8931	0.8326	1.1215	159.3	15
20	0.33613	421.2	1.9189	0.8380	1.1180	161.0		0.29343	421.0	1.9075	0.8402	1.1193	160.7	20
25	0.34211	425.4	1.9331	0.8458	1.1161	162.3		0.29878	425.2	1.9218	0.8478	1.1172	162.1	25
30	0.34819	429.6	1.9473	0.8537	1.1143	163.7		0.30404	429.4	1.9359	0.8555	1.1153	163.5	30
35	0.35423	433.9	1.9613	0.8615	1.1125	165.0		0.30941	433.7	1.9500	0.8632	1.1135	164.8	35
40	0.36023	438.2	1.9752	0.8694	1.1109	166.4		0.31466	438.1	1.9640	0.8709	1.1118	166.2	40
45	0.36630	442.6	1.9890	0.8773	1.1093	167.7		0.32000	442.4	1.9778	0.8787	1.1101	167.5	45
50	0.37230	447.0	2.0028	0.8852	1.1078	169.0		0.32520	446.9	1.9916	0.8865	1.1085	168.8	50
55	0.37821	451.4	2.0164	0.8931	1.1063	170.3		0.33047	451.3	2.0053	0.8944	1.1071	170.1	55
60	0.38417	455.9	2.0300	0.9010	1.1050	171.6		0.33568	455.8	2.0188	0.9022	1.1056	171.4	60
65	0.39017	460.5	2.0435	0.9089	1.1036	172.8		0.34095	460.3	2.0323	0.9100	1.1043	172.7	65
70	0.39620	465.0	2.0569	0.9168	1.1024	174.1		0.34614	464.9	2.0457	0.9178	1.1030	173.9	70
75	0.40209	469.6	2.0702	0.9246	1.1012	175.3		0.35137	469.5	2.0591	0.9255	1.1017	175.2	75
80	0.40800	474.3	2.0834	0.9324	1.1000	176.6		0.35663	474.2	2.0723	0.9333	1.1005	176.4	80
85	0.41391	478.9	2.0966	0.9402	1.0989	177.8		0.36179	478.8	2.0855	0.9410	1.0994	177.6	85
90	0.41982	483.7	2.1097	0.9480	1.0978	179.0		0.36697	483.6	2.0986	0.9487	1.0982	178.9	90
95	0.42589	488.4	2.1227	0.9557	1.0967	180.2		0.37216	488.3	2.1116	0.9564	1.0972	180.1	95
100	0.43178	493.2	2.1357	0.9633	1.0957	181.4		0.37736	493.1	2.1246	0.9640	1.0961	181.3	100
105	0.43764	498.1	2.1485	0.9710	1.0948	182.6		0.38256	498.0	2.1375	0.9716	1.0951	182.5	105
110	0.44346	502.9	2.1613	0.9786	1.0938	183.8		0.38775	502.8	2.1503	0.9792	1.0942	183.6	110
115	0.44944	507.8	2.1741	0.9861	1.0929	184.9		0.39293	507.8	2.1630	0.9867	1.0932	184.8	115
120	0.45537	512.8	2.1867	0.9936	1.0920	186.1		0.39809	512.7	2.1757	0.9941	1.0923	186.0	120

TABLE 2 (continued)
HFC-134a Superheated Vapor—Constant Pressure Tables

v = Volume in m³/kg H = Enthalpy in kJ/kg S = Entropy in kJ/(kg)(K) v_s = Velocity of Sound in m/sec
 C_p = Heat Capacity at Constant Pressure in kJ/(kg)(°C) C_p/C_v = Heat Capacity Ratio (Dimensionless)

TEMP °C	PRESSURE = 90.00 kPa (abs)						SAT LIQ SAT VAP	PRESSURE = 100.00 kPa (abs)						TEMP °C
	v	H	S	C_p	C_p/C_v	v_s		v	H	S	C_p	C_p/C_v	v_s	
-28.61	0.00072	162.7	0.8564	1.2662	1.5041	756.7		0.00073	165.6	0.8681	1.2715	1.5046	746.2	-26.34
-28.61	0.21254	381.4	1.7509	0.7800	1.1527	145.4		0.19246	382.8	1.7484	0.7876	1.1539	145.7	-26.34
-25	0.21622	384.3	1.7624	0.7835	1.1492	146.6		0.19372	383.9	1.7527	0.7888	1.1525	146.1	-25
-20	0.22129	388.2	1.7780	0.7888	1.1448	148.3		0.19829	387.9	1.7685	0.7935	1.1477	147.8	-20
-15	0.22624	392.1	1.7935	0.7946	1.1408	149.9		0.20284	391.8	1.7840	0.7988	1.1434	149.5	-15
-10	0.23121	396.1	1.8088	0.8007	1.1372	151.5		0.20734	395.8	1.7994	0.8045	1.1395	151.1	-10
-5	0.23613	400.2	1.8240	0.8071	1.1339	153.0		0.21182	399.9	1.8146	0.8106	1.1359	152.7	-5
0	0.24102	404.2	1.8389	0.8138	1.1308	154.5		0.21626	404.0	1.8297	0.8169	1.1327	154.2	0
5	0.24588	408.3	1.8538	0.8207	1.1279	156.0		0.22065	408.1	1.8445	0.8235	1.1296	155.7	5
10	0.25069	412.4	1.8684	0.8278	1.1253	157.5		0.22502	412.2	1.8593	0.8304	1.1269	157.2	10
15	0.25549	416.6	1.8830	0.8350	1.1229	159.0		0.22941	416.4	1.8739	0.8373	1.1243	158.7	15
20	0.26028	420.8	1.8974	0.8423	1.1206	160.4		0.23370	420.6	1.8883	0.8445	1.1218	160.1	20
25	0.26504	425.0	1.9117	0.8498	1.1184	161.8		0.23804	424.8	1.9027	0.8517	1.1196	161.6	25
30	0.26976	429.3	1.9259	0.8573	1.1164	163.2		0.24231	429.1	1.9169	0.8591	1.1175	163.0	30
35	0.27450	433.6	1.9400	0.8649	1.1145	164.6		0.24661	433.4	1.9310	0.8665	1.1155	164.3	35
40	0.27925	437.9	1.9540	0.8725	1.1127	165.9		0.25088	437.7	1.9450	0.8741	1.1136	165.7	40
45	0.28393	442.3	1.9679	0.8802	1.1110	167.3		0.25517	442.1	1.9589	0.8816	1.1118	167.1	45
50	0.28860	446.7	1.9816	0.8879	1.1093	168.6		0.25940	446.6	1.9727	0.8892	1.1101	168.4	50
55	0.29334	451.2	1.9953	0.8956	1.1078	169.9		0.26364	451.0	1.9864	0.8968	1.1085	169.7	55
60	0.29797	455.7	2.0089	0.9033	1.1063	171.2		0.26788	455.5	2.0001	0.9045	1.1070	171.0	60
65	0.30266	460.2	2.0225	0.9110	1.1049	172.5		0.27203	460.1	2.0136	0.9121	1.1055	172.3	65
70	0.30731	464.8	2.0359	0.9188	1.1036	173.8		0.27624	464.7	2.0270	0.9198	1.1042	173.6	70
75	0.31201	469.4	2.0492	0.9265	1.1023	175.0		0.28043	469.3	2.0404	0.9274	1.1028	174.9	75
80	0.31666	474.0	2.0625	0.9342	1.1010	176.3		0.28466	473.9	2.0537	0.9350	1.1016	176.1	80
85	0.32123	478.7	2.0757	0.9418	1.0999	177.5		0.28885	478.6	2.0669	0.9427	1.1004	177.4	85
90	0.32595	483.5	2.0888	0.9495	1.0987	178.7		0.29300	483.4	2.0800	0.9503	1.0992	178.6	90
95	0.33058	488.2	2.1018	0.9571	1.0976	179.9		0.29718	488.1	2.0930	0.9578	1.0981	179.8	95
100	0.33523	493.0	2.1148	0.9647	1.0966	181.1		0.30139	492.9	2.1060	0.9654	1.0970	181.0	100
105	0.33979	497.9	2.1277	0.9722	1.0955	182.3		0.30553	497.8	2.1189	0.9729	1.0959	182.2	105
110	0.34447	502.8	2.1405	0.9798	1.0946	183.5		0.30969	502.7	2.1318	0.9804	1.0949	183.4	110
115	0.34904	507.7	2.1533	0.9872	1.0936	184.7		0.31387	507.6	2.1445	0.9878	1.0940	184.6	115
120	0.35361	512.6	2.1659	0.9947	1.0927	185.9		0.31797	512.5	2.1572	0.9952	1.0930	185.8	120
125	0.35817	517.6	2.1786	1.0021	1.0918	187.0		0.32216	517.5	2.1698	1.0026	1.0921	186.9	125

TEMP °C	PRESSURE = 101.325 kPa (abs)						SAT LIQ SAT VAP	PRESSURE = 110.00 kPa (abs)						TEMP °C
	v	H	S	C_p	C_p/C_v	v_s		v	H	S	C_p	C_p/C_v	v_s	
-26.06	0.00073	165.9	0.8696	1.2722	1.5046	744.9		0.00073	168.2	0.8788	1.2765	1.5051	736.6	-24.25
-26.06	0.19011	383.0	1.7481	0.7886	1.1540	145.7		0.17593	384.1	1.7462	0.7948	1.1551	145.9	-24.25
-25	0.19106	383.9	1.7515	0.7895	1.1530	146.1		—	—	—	—	—	—	-25
-20	0.19562	387.8	1.7673	0.7942	1.1481	147.7		0.17953	387.5	1.7597	0.7984	1.1507	147.4	-20
-15	0.20012	391.8	1.7829	0.7994	1.1438	149.4		0.18369	391.5	1.7754	0.8031	1.1461	149.0	-15
-10	0.20454	395.8	1.7982	0.8050	1.1398	151.0		0.18783	395.6	1.7908	0.8084	1.1419	150.7	-10
-5	0.20894	399.9	1.8135	0.8110	1.1362	152.6		0.19194	399.6	1.8061	0.8141	1.1381	152.3	-5
0	0.21336	403.9	1.8285	0.8173	1.1329	154.2		0.19600	403.7	1.8212	0.8201	1.1346	153.9	0
5	0.21768	408.0	1.8434	0.8239	1.1299	155.7		0.20004	407.8	1.8361	0.8264	1.1314	155.4	5
10	0.22202	412.2	1.8581	0.8307	1.1271	157.2		0.20404	412.0	1.8509	0.8330	1.1284	156.9	10
15	0.22630	416.3	1.8727	0.8377	1.1244	158.6		0.20803	416.2	1.8656	0.8397	1.1257	158.4	15
20	0.23057	420.5	1.8872	0.8448	1.1220	160.1		0.21200	420.4	1.8801	0.8467	1.1231	159.9	20
25	0.23485	424.8	1.9015	0.8520	1.1197	161.5		0.21598	424.6	1.8945	0.8538	1.1208	161.3	25
30	0.23906	429.1	1.9158	0.8594	1.1176	162.9		0.21988	428.9	1.9087	0.8610	1.1186	162.7	30
35	0.24331	433.4	1.9299	0.8668	1.1156	164.3		0.22376	433.2	1.9228	0.8683	1.1165	164.1	35
40	0.24759	437.7	1.9439	0.8743	1.1137	165.7		0.22769	437.6	1.9369	0.8756	1.1145	165.5	40
45	0.25176	442.1	1.9578	0.8818	1.1119	167.0		0.23154	442.0	1.9508	0.8831	1.1127	166.9	45
50	0.25595	446.5	1.9716	0.8894	1.1102	168.4		0.23546	446.4	1.9646	0.8905	1.1109	168.2	50
55	0.26015	451.0	1.9853	0.8970	1.1086	169.7		0.23929	450.9	1.9784	0.8981	1.1093	169.5	55
60	0.26427	455.5	1.9989	0.9046	1.1071	171.0		0.24313	455.4	1.9920	0.9056	1.1077	170.8	60
65	0.26846	460.1	2.0125	0.9123	1.1056	172.3		0.24697	459.9	2.0055	0.9132	1.1062	172.1	65
70	0.27263	464.6	2.0259	0.9199	1.1042	173.6		0.25088	464.5	2.0190	0.9208	1.1048	173.4	70
75	0.27678	469.3	2.0393	0.9275	1.1029	174.8		0.25465	469.2	2.0324	0.9283	1.1034	174.7	75
80	0.28090	473.9	2.0526	0.9352	1.1016	176.1		0.25853	473.8	2.0457	0.9359	1.1021	176.0	80
85	0.28506	478.6	2.0658	0.9428	1.1004	177.3		0.26233	478.5	2.0589	0.9435	1.1009	177.2	85
90	0.28918	483.3	2.0789	0.9504	1.0992	178.6		0.26610	483.2	2.0720	0.9510	1.0997	178.4	90
95	0.29326	488.1	2.0919	0.9579	1.0981	179.8		0.26998	488.0	2.0851	0.9586	1.0985	179.7	95
100	0.29735	492.9	2.1049	0.9655	1.0970	181.0		0.27375	492.8	2.0981	0.9661	1.0974	180.9	100
105	0.30157	497.8	2.1178	0.9730	1.0960	182.2		0.27755	497.7	2.1110	0.9735	1.0963	182.1	105
110	0.30562	502.6	2.1306	0.9804	1.0950	183.4		0.28129	502.6	2.1238	0.9810	1.0953	183.3	110
115	0.30969	507.6	2.1434	0.9879	1.0940	184.6		0.28514	507.5	2.1366	0.9884	1.0943	184.5	115
120	0.31377	512.5	2.1561	0.9953	1.0931	185.7		0.28893	512.5	2.1493	0.9958	1.0934	185.6	120
125	0.31797	517.5	2.1687	1.0026	1.0922	186.9		0.29265	517.5	2.1619	1.0031	1.0924	186.8	125
130	—	—	—	—	—	—		0.29647	522.5	2.1745	1.0104	1.0915	188.0	130

TABLE 2 (continued)
HFC-134a Superheated Vapor—Constant Pressure Tables

V = Volume in m³/kg H = Enthalpy in kJ/kg S = Entropy in kJ/(kg)(K) v_s = Velocity of Sound in m/sec
Cp = Heat Capacity at Constant Pressure in kJ/(kg)(°C) Cp/Cv = Heat Capacity Ratio (Dimensionless)

TEMP °C	PRESSURE = 120.0 kPa (abs)						SAT LIQ SAT VAP	PRESSURE = 130.0 kPa (abs)						TEMP °C
	V	H	S	Cp	Cp/Cv	v _s		V	H	S	Cp	Cp/Cv	v _s	
-22.29	0.00073	170.7	0.8888	1.2812	1.5058	727.6		0.00074	173.1	0.8981	1.2856	1.5065	719.1	-20.47
-22.29	0.16207	385.4	1.7443	0.8016	1.1563	146.1		0.15026	386.5	1.7426	0.8080	1.1575	146.3	-20.47
-20	0.16385	387.2	1.7516	0.8033	1.1538	146.9		0.15060	386.9	1.7441	0.8083	1.1570	146.4	-20
-15	0.16773	391.2	1.7674	0.8075	1.1488	148.6		0.15423	390.9	1.7600	0.8120	1.1516	148.2	-15
-10	0.17156	395.3	1.7829	0.8124	1.1443	150.3		0.15780	395.0	1.7756	0.8164	1.1468	149.9	-10
-5	0.17535	399.3	1.7983	0.8177	1.1402	151.9		0.16134	399.1	1.7910	0.8213	1.1425	151.5	-5
0	0.17912	403.5	1.8134	0.8233	1.1365	153.5		0.16483	403.2	1.8062	0.8266	1.1385	153.1	0
5	0.18285	407.6	1.8284	0.8294	1.1331	155.1		0.16829	407.3	1.8212	0.8323	1.1349	154.7	5
10	0.18657	411.7	1.8432	0.8356	1.1300	156.6		0.17173	411.5	1.8361	0.8383	1.1316	156.3	10
15	0.19022	415.9	1.8579	0.8422	1.1271	158.1		0.17516	415.7	1.8509	0.8446	1.1286	157.8	15
20	0.19387	420.2	1.8725	0.8489	1.1245	159.6		0.17857	420.0	1.8654	0.8511	1.1258	159.3	20
25	0.19751	424.4	1.8869	0.8558	1.1220	161.0		0.18195	424.2	1.8799	0.8578	1.1232	160.8	25
30	0.20113	428.7	1.9012	0.8628	1.1197	162.5		0.18529	428.5	1.8942	0.8647	1.1208	162.2	30
35	0.20475	433.1	1.9153	0.8700	1.1175	163.9		0.18864	432.9	1.9084	0.8717	1.1185	163.6	35
40	0.20833	437.4	1.9294	0.8772	1.1155	165.3		0.19198	437.3	1.9225	0.8788	1.1164	165.0	40
45	0.21191	441.8	1.9434	0.8845	1.1135	166.6		0.19531	441.7	1.9365	0.8860	1.1144	166.4	45
50	0.21552	446.3	1.9572	0.8919	1.1117	168.0		0.19861	446.1	1.9504	0.8933	1.1125	167.8	50
55	0.21906	450.7	1.9710	0.8993	1.1100	169.3		0.20190	450.6	1.9641	0.9006	1.1108	169.1	55
60	0.22262	455.3	1.9846	0.9068	1.1084	170.7		0.20521	455.1	1.9778	0.9080	1.1091	170.5	60
65	0.22614	459.8	1.9982	0.9143	1.1068	172.0		0.20846	459.7	1.9914	0.9154	1.1075	171.8	65
70	0.22967	464.4	2.0117	0.9218	1.1054	173.3		0.21173	464.3	2.0049	0.9228	1.1060	173.1	70
75	0.23321	469.0	2.0251	0.9293	1.1040	174.5		0.21501	468.9	2.0183	0.9302	1.1045	174.4	75
80	0.23669	473.7	2.0384	0.9368	1.1026	175.8		0.21825	473.6	2.0316	0.9377	1.1032	175.7	80
85	0.24021	478.4	2.0516	0.9443	1.1014	177.1		0.22148	478.3	2.0448	0.9451	1.1019	176.9	85
90	0.24372	483.1	2.0647	0.9518	1.1001	178.3		0.22477	483.0	2.0580	0.9526	1.1006	178.2	90
95	0.24722	487.9	2.0778	0.9593	1.0989	179.5		0.22800	487.8	2.0711	0.9600	1.0994	179.4	95
100	0.25069	492.7	2.0908	0.9667	1.0978	180.8		0.23116	492.6	2.0841	0.9674	1.0982	180.6	100
105	0.25419	497.6	2.1037	0.9742	1.0967	182.0		0.23447	497.5	2.0970	0.9748	1.0971	181.8	105
110	0.25767	502.5	2.1165	0.9816	1.0957	183.2		0.23764	502.4	2.1098	0.9822	1.0961	183.0	110
115	0.26116	507.4	2.1293	0.9890	1.0947	184.4		0.24091	507.3	2.1226	0.9895	1.0950	184.2	115
120	0.26462	512.4	2.1420	0.9963	1.0937	185.5		0.24414	512.3	2.1353	0.9968	1.0940	185.4	120
125	0.26810	517.4	2.1547	1.0036	1.0928	186.7		0.24728	517.3	2.1480	1.0041	1.0931	186.6	125
130	0.27152	522.4	2.1672	1.0109	1.0919	187.9		0.25050	522.3	2.1606	1.0114	1.0922	187.8	130

TEMP °C	PRESSURE = 140.0 kPa (abs)						SAT LIQ SAT VAP	PRESSURE = 150.0 kPa (abs)						TEMP °C
	V	H	S	Cp	Cp/Cv	v _s		V	H	S	Cp	Cp/Cv	v _s	
-18.75	0.00074	175.3	0.9068	1.2899	1.5072	711.2		0.00074	177.4	0.9150	1.2939	1.5081	703.7	-17.12
-18.75	0.14010	387.5	1.7411	0.8142	1.1587	146.4		0.13123	388.5	1.7397	0.8201	1.1599	146.5	-17.12
-15	0.14263	390.6	1.7530	0.8166	1.1545	147.7		0.13259	390.3	1.7464	0.8213	1.1574	147.3	-15
-10	0.14599	394.7	1.7687	0.8205	1.1493	149.5		0.13576	394.4	1.7622	0.8247	1.1519	149.1	-10
-5	0.14930	398.8	1.7842	0.8250	1.1447	151.2		0.13889	398.5	1.7778	0.8287	1.1470	150.8	-5
0	0.15258	402.9	1.7995	0.8299	1.1405	152.8		0.14196	402.7	1.7931	0.8333	1.1426	152.4	0
5	0.15584	407.1	1.8146	0.8353	1.1368	154.4		0.14503	406.9	1.8083	0.8384	1.1386	154.1	5
10	0.15906	411.3	1.8295	0.8411	1.1333	156.0		0.14806	411.1	1.8233	0.8438	1.1350	155.7	10
15	0.16226	415.5	1.8443	0.8471	1.1301	157.5		0.15106	415.3	1.8381	0.8496	1.1316	157.2	15
20	0.16543	419.8	1.8589	0.8534	1.1272	159.0		0.15404	419.6	1.8528	0.8557	1.1285	158.7	20
25	0.16858	424.1	1.8734	0.8599	1.1245	160.5		0.15701	423.9	1.8673	0.8620	1.1257	160.2	25
30	0.17173	428.4	1.8877	0.8666	1.1219	162.0		0.15995	428.2	1.8817	0.8685	1.1231	161.7	30
35	0.17486	432.7	1.9020	0.8735	1.1196	163.4		0.16289	432.5	1.8959	0.8752	1.1206	163.2	35
40	0.17794	437.1	1.9161	0.8804	1.1174	164.8		0.16581	436.9	1.9101	0.8820	1.1183	164.6	40
45	0.18106	441.5	1.9301	0.8875	1.1153	166.2		0.16869	441.4	1.9241	0.8890	1.1162	166.0	45
50	0.18413	446.0	1.9440	0.8946	1.1134	167.6		0.17156	445.8	1.9380	0.8960	1.1142	167.4	50
55	0.18720	450.5	1.9578	0.9019	1.1115	168.9		0.17449	450.3	1.9518	0.9032	1.1123	168.7	55
60	0.19026	455.0	1.9715	0.9091	1.1098	170.3		0.17734	454.9	1.9656	0.9103	1.1105	170.1	60
65	0.19331	459.6	1.9851	0.9165	1.1082	171.6		0.18018	459.4	1.9792	0.9176	1.1088	171.4	65
70	0.19635	464.2	1.9986	0.9238	1.1066	172.9		0.18305	464.0	1.9927	0.9249	1.1072	172.8	70
75	0.19936	468.8	2.0120	0.9312	1.1051	174.2		0.18587	468.7	2.0061	0.9322	1.1057	174.1	75
80	0.20243	473.5	2.0253	0.9386	1.1037	175.5		0.18875	473.4	2.0195	0.9395	1.1043	175.3	80
85	0.20547	478.2	2.0386	0.9460	1.1024	176.8		0.19157	478.1	2.0327	0.9468	1.1029	176.6	85
90	0.20851	482.9	2.0517	0.9534	1.1011	178.0		0.19440	482.8	2.0459	0.9541	1.1016	177.9	90
95	0.21146	487.7	2.0648	0.9607	1.0998	179.3		0.19720	487.6	2.0590	0.9615	1.1003	179.1	95
100	0.21450	492.5	2.0778	0.9681	1.0987	180.5		0.20000	492.4	2.0720	0.9688	1.0991	180.4	100
105	0.21753	497.4	2.0908	0.9755	1.0975	181.7		0.20284	497.3	2.0850	0.9761	1.0979	181.6	105
110	0.22051	502.3	2.1036	0.9828	1.0964	182.9		0.20563	502.2	2.0978	0.9834	1.0968	182.8	110
115	0.22351	507.2	2.1164	0.9901	1.0954	184.1		0.20846	507.1	2.1106	0.9907	1.0958	184.0	115
120	0.22650	512.2	2.1291	0.9974	1.0944	185.3		0.21124	512.1	2.1234	0.9979	1.0947	185.2	120
125	0.22946	517.2	2.1418	1.0046	1.0934	186.5		0.21404	517.1	2.1360	1.0052	1.0937	186.4	125
130	0.23245	522.2	2.1544	1.0118	1.0925	187.7		0.21683	522.2	2.1486	1.0123	1.0928	187.6	130
135	0.23546	527.3	2.1669	1.0190	1.0916	188.8		0.21964	527.2	2.1611	1.0195	1.0919	188.7	135

TABLE 2 (continued)
HFC-134a Superheated Vapor—Constant Pressure Tables

v = Volume in m^3/kg H = Enthalpy in kJ/kg S = Entropy in $kJ/(kg)(K)$ v_s = Velocity of Sound in m/sec
 c_p = Heat Capacity at Constant Pressure in $kJ/(kg)(^\circ C)$ Cp/Cv = Heat Capacity Ratio (Dimensionless)

TEMP °C	PRESSURE = 160.00 kPa (abs)						SAT LIQ SAT VAP	PRESSURE = 170.00 kPa (abs)						TEMP °C
	V	H	S	Cp	Cp/Cv	v_s		V	H	S	Cp	Cp/Cv	v_s	
-15.58	0.00074	179.4	0.9228	1.2979	1.5089	696.6		0.00075	181.3	0.9302	1.3017	1.5098	689.9	-14.11
-15.58	0.12344	389.5	1.7384	0.8258	1.1612	146.6		0.11655	390.4	1.7372	0.8313	1.1624	146.7	-14.11
-15	0.12379	390.0	1.7402	0.8261	1.1605	146.9		—	—	—	—	—	—	-15
-10	0.12679	394.1	1.7561	0.8289	1.1546	148.6		0.11889	393.8	1.7503	0.8333	1.1574	148.2	-10
-5	0.12975	398.3	1.7717	0.8325	1.1494	150.4		0.12170	398.0	1.7660	0.8364	1.1518	150.0	-5
0	0.13268	402.4	1.7872	0.8367	1.1447	152.1		0.12447	402.2	1.7815	0.8402	1.1469	151.7	0
5	0.13556	406.6	1.8024	0.8415	1.1405	153.7		0.12721	406.4	1.7968	0.8446	1.1424	153.4	5
10	0.13843	410.8	1.8174	0.8466	1.1367	155.3		0.12994	410.6	1.8119	0.8495	1.1384	155.0	10
15	0.14126	415.1	1.8323	0.8522	1.1332	156.9		0.13263	414.9	1.8268	0.8548	1.1347	156.6	15
20	0.14407	419.4	1.8470	0.8580	1.1299	158.5		0.13528	419.2	1.8415	0.8604	1.1314	158.2	20
25	0.14686	423.7	1.8616	0.8641	1.1270	160.0		0.13793	423.5	1.8561	0.8663	1.1283	159.7	25
30	0.14966	428.0	1.8760	0.8705	1.1242	161.5		0.14055	427.8	1.8706	0.8724	1.1254	161.2	30
35	0.15242	432.4	1.8903	0.8770	1.1217	162.9		0.14316	432.2	1.8849	0.8788	1.1228	162.7	35
40	0.15516	436.8	1.9044	0.8837	1.1193	164.4		0.14577	436.6	1.8991	0.8853	1.1203	164.1	40
45	0.15790	441.2	1.9185	0.8905	1.1171	165.8		0.14835	441.1	1.9132	0.8920	1.1180	165.6	45
50	0.16059	445.7	1.9324	0.8974	1.1150	167.2		0.15092	445.5	1.9272	0.8988	1.1159	167.0	50
55	0.16329	450.2	1.9463	0.9044	1.1131	168.6		0.15347	450.0	1.9410	0.9057	1.1139	168.4	55
60	0.16600	454.7	1.9600	0.9115	1.1112	169.9		0.15603	454.6	1.9548	0.9127	1.1120	169.7	60
65	0.16869	459.3	1.9736	0.9187	1.1095	171.3		0.15858	459.2	1.9684	0.9198	1.1102	171.1	65
70	0.17141	463.9	1.9872	0.9259	1.1079	172.6		0.16108	463.8	1.9820	0.9269	1.1085	172.4	70
75	0.17406	468.6	2.0006	0.9331	1.1063	173.9		0.16364	468.4	1.9954	0.9341	1.1069	173.7	75
80	0.17674	473.2	2.0140	0.9404	1.1048	175.2		0.16617	473.1	2.0088	0.9413	1.1054	175.0	80
85	0.17940	478.0	2.0272	0.9477	1.1034	176.5		0.16863	477.9	2.0221	0.9485	1.1039	176.3	85
90	0.18205	482.7	2.0404	0.9549	1.1020	177.7		0.17117	482.6	2.0353	0.9557	1.1025	177.6	90
95	0.18471	487.5	2.0535	0.9622	1.1008	179.0		0.17367	487.4	2.0484	0.9630	1.1012	178.9	95
100	0.18734	492.3	2.0666	0.9695	1.0995	180.2		0.17618	492.2	2.0614	0.9702	1.1000	180.1	100
105	0.19001	497.2	2.0795	0.9768	1.0983	181.5		0.17867	497.1	2.0744	0.9774	1.0988	181.3	105
110	0.19260	502.1	2.0924	0.9840	1.0972	182.7		0.18113	502.0	2.0873	0.9847	1.0976	182.6	110
115	0.19524	507.0	2.1052	0.9913	1.0961	183.9		0.18362	507.0	2.1001	0.9919	1.0965	183.8	115
120	0.19790	512.0	2.1179	0.9985	1.0951	185.1		0.18612	511.9	2.1128	0.9990	1.0954	185.0	120
125	0.20052	517.0	2.1306	1.0057	1.0941	186.3		0.18857	516.9	2.1255	1.0062	1.0944	186.2	125
130	0.20313	522.1	2.1432	1.0128	1.0931	187.5		0.19106	522.0	2.1381	1.0133	1.0934	187.4	130
135	0.20576	527.2	2.1557	1.0200	1.0922	188.6		0.19354	527.1	2.1506	1.0204	1.0925	188.5	135
140	—	—	—	—	—	—		0.19600	532.2	2.1631	1.0275	1.0915	189.7	140

TEMP °C	PRESSURE = 180.00 kPa (abs)						SAT LIQ SAT VAP	PRESSURE = 190.00 kPa (abs)						TEMP °C
	V	H	S	Cp	Cp/Cv	v_s		V	H	S	Cp	Cp/Cv	v_s	
-12.71	0.00075	183.2	0.9372	1.3053	1.5107	683.4		0.00075	184.9	0.9439	1.3089	1.5116	677.3	-11.37
-12.71	0.11039	391.2	1.7361	0.8366	1.1637	146.8		0.10484	392.0	1.7351	0.8418	1.1649	146.9	-11.37
-10	0.11186	393.5	1.7448	0.8377	1.1602	147.8		0.10556	393.2	1.7395	0.8422	1.1631	147.4	-10
-5	0.11453	397.7	1.7606	0.8404	1.1543	149.6		0.10812	397.4	1.7554	0.8444	1.1569	149.2	-5
0	0.11718	401.9	1.7761	0.8438	1.1491	151.3		0.11066	401.6	1.7710	0.8474	1.1514	151.0	0
5	0.11979	406.1	1.7915	0.8478	1.1444	153.0		0.11315	405.9	1.7864	0.8510	1.1464	152.7	5
10	0.12237	410.4	1.8066	0.8524	1.1402	154.7		0.11562	410.1	1.8016	0.8553	1.1420	154.4	10
15	0.12494	414.7	1.8216	0.8574	1.1363	156.3		0.11805	414.4	1.8166	0.8600	1.1380	156.0	15
20	0.12747	419.0	1.8364	0.8628	1.1328	157.9		0.12047	418.7	1.8314	0.8652	1.1343	157.6	20
25	0.12999	423.3	1.8510	0.8685	1.1296	159.4		0.12287	423.1	1.8461	0.8706	1.1309	159.2	25
30	0.13247	427.6	1.8655	0.8744	1.1266	160.9		0.12525	427.5	1.8606	0.8764	1.1278	160.7	30
35	0.13495	432.0	1.8798	0.8806	1.1239	162.4		0.12760	431.9	1.8750	0.8824	1.1250	162.2	35
40	0.13742	436.4	1.8941	0.8870	1.1213	163.9		0.12995	436.3	1.8893	0.8887	1.1223	163.7	40
45	0.13988	440.9	1.9082	0.8936	1.1190	165.3		0.13229	440.7	1.9034	0.8951	1.1199	165.1	45
50	0.14231	445.4	1.9222	0.9003	1.1167	166.8		0.13461	445.2	1.9174	0.9017	1.1176	166.6	50
55	0.14474	449.9	1.9360	0.9071	1.1147	168.2		0.13693	449.8	1.9313	0.9084	1.1155	168.0	55
60	0.14717	454.5	1.9498	0.9140	1.1127	169.5		0.13922	454.3	1.9451	0.9152	1.1134	169.4	60
65	0.14957	459.0	1.9635	0.9209	1.1109	170.9		0.14152	458.9	1.9588	0.9221	1.1115	170.7	65
70	0.15195	463.7	1.9770	0.9280	1.1091	172.2		0.14380	463.5	1.9724	0.9290	1.1098	172.1	70
75	0.15434	468.3	1.9905	0.9351	1.1075	173.6		0.14607	468.2	1.9859	0.9360	1.1081	173.4	75
80	0.15674	473.0	2.0039	0.9422	1.1059	174.9		0.14832	472.9	1.9993	0.9431	1.1065	174.7	80
85	0.15911	477.7	2.0172	0.9494	1.1044	176.2		0.15060	477.6	2.0126	0.9502	1.1050	176.0	85
90	0.16150	482.5	2.0304	0.9565	1.1030	177.5		0.15284	482.4	2.0258	0.9573	1.1035	177.3	90
95	0.16385	487.3	2.0435	0.9637	1.1017	178.7		0.15509	487.2	2.0389	0.9645	1.1021	178.6	95
100	0.16622	492.1	2.0566	0.9709	1.1004	180.0		0.15733	492.0	2.0520	0.9716	1.1008	179.8	100
105	0.16858	497.0	2.0696	0.9781	1.0992	181.2		0.15957	496.9	2.0650	0.9788	1.0996	181.1	105
110	0.17094	501.9	2.0825	0.9853	1.0980	182.4		0.16181	501.8	2.0779	0.9859	1.0984	182.3	110
115	0.17328	506.9	2.0953	0.9924	1.0969	183.7		0.16404	506.8	2.0907	0.9930	1.0972	183.6	115
120	0.17562	511.8	2.1080	0.9996	1.0958	184.9		0.16625	511.8	2.1034	1.0001	1.0961	184.8	120
125	0.17797	516.9	2.1207	1.0067	1.0947	186.1		0.16849	516.8	2.1161	1.0072	1.0951	186.0	125
130	0.18031	521.9	2.1333	1.0138	1.0937	187.3		0.17071	521.8	2.1288	1.0143	1.0940	187.2	130
135	0.18265	527.0	2.1458	1.0209	1.0928	188.4		0.17292	526.9	2.1413	1.0214	1.0931	188.3	135
140	0.18498	532.1	2.1583	1.0279	1.0918	189.6		0.17516	532.0	2.1538	1.0284	1.0921	189.5	140

TABLE 2 (continued)
HFC-134a Superheated Vapor—Constant Pressure Tables

V = Volume in m³/kg H = Enthalpy in kJ/kg S = Entropy in kJ/(kg)(K) v_s = Velocity of Sound in m/sec
Cp = Heat Capacity at Constant Pressure in kJ/(kg)(°C) Cp/Cv = Heat Capacity Ratio (Dimensionless)

TEMP °C	PRESSURE = 200.00 kPa (abs)						SAT LIQ SAT VAP	PRESSURE = 210.00 kPa (abs)						TEMP °C
	V	H	S	Cp	Cp/Cv	v _s		V	H	S	Cp	Cp/Cv	v _s	
-10.08	0.00075	186.6	0.9503	1.3124	1.5125	671.3		0.00076	188.2	0.9565	1.3157	1.5135	665.6	-8.84
-10.08	0.09985	392.8	1.7342	0.8468	1.1661	146.9		0.09531	393.6	1.7333	0.8517	1.1674	147.0	-8.84
-10	0.09989	392.9	1.7344	0.8468	1.1660	146.9		—	—	—	—	—	—	-10
-5	0.10235	397.1	1.7504	0.8485	1.1595	148.8		0.09713	396.8	1.7456	0.8527	1.1621	148.4	-5
0	0.10478	401.4	1.7661	0.8510	1.1537	150.6		0.09945	401.1	1.7613	0.8548	1.1560	150.2	0
5	0.10717	405.6	1.7815	0.8543	1.1485	152.3		0.10175	405.4	1.7769	0.8577	1.1506	152.0	5
10	0.10953	409.9	1.7968	0.8583	1.1438	154.0		0.10401	409.7	1.7922	0.8613	1.1457	153.7	10
15	0.11186	414.2	1.8118	0.8627	1.1396	155.7		0.10626	414.0	1.8073	0.8654	1.1413	155.4	15
20	0.11417	418.5	1.8267	0.8676	1.1358	157.3		0.10847	418.3	1.8222	0.8700	1.1373	157.0	20
25	0.11647	422.9	1.8414	0.8729	1.1323	158.9		0.11067	422.7	1.8370	0.8751	1.1336	158.6	25
30	0.11874	427.3	1.8560	0.8784	1.1291	160.4		0.11284	427.1	1.8516	0.8805	1.1303	160.2	30
35	0.12099	431.7	1.8704	0.8843	1.1261	162.0		0.11501	431.5	1.8660	0.8862	1.1272	161.7	35
40	0.12324	436.1	1.8847	0.8904	1.1234	163.4		0.11715	435.9	1.8803	0.8921	1.1244	163.2	40
45	0.12547	440.6	1.8989	0.8967	1.1208	164.9		0.11927	440.4	1.8945	0.8982	1.1218	164.7	45
50	0.12767	445.1	1.9129	0.9031	1.1185	166.3		0.12139	444.9	1.9086	0.9046	1.1193	166.1	50
55	0.12989	449.6	1.9268	0.9097	1.1163	167.8		0.12350	449.5	1.9225	0.9110	1.1171	167.6	55
60	0.13207	454.2	1.9406	0.9164	1.1142	169.2		0.12560	454.0	1.9363	0.9176	1.1149	169.0	60
65	0.13425	458.8	1.9543	0.9232	1.1122	170.5		0.12768	458.6	1.9501	0.9244	1.1129	170.4	65
70	0.13643	463.4	1.9679	0.9301	1.1104	171.9		0.12975	463.3	1.9637	0.9312	1.1111	171.7	70
75	0.13860	468.1	1.9814	0.9370	1.1087	173.2		0.13184	468.0	1.9772	0.9380	1.1093	173.1	75
80	0.14075	472.8	1.9948	0.9440	1.1070	174.6		0.13390	472.7	1.9906	0.9450	1.1076	174.4	80
85	0.14290	477.5	2.0082	0.9511	1.1055	175.9		0.13596	477.4	2.0040	0.9519	1.1060	175.7	85
90	0.14505	482.3	2.0214	0.9581	1.1040	177.2		0.13799	482.2	2.0172	0.9589	1.1045	177.0	90
95	0.14719	487.1	2.0345	0.9652	1.1026	178.4		0.14004	487.0	2.0304	0.9660	1.1031	178.3	95
100	0.14932	491.9	2.0476	0.9723	1.1013	179.7		0.14209	491.8	2.0434	0.9730	1.1017	179.6	100
105	0.15145	496.8	2.0606	0.9794	1.1000	181.0		0.14413	496.7	2.0564	0.9801	1.1004	180.8	105
110	0.15359	501.7	2.0735	0.9865	1.0988	182.2		0.14616	501.6	2.0694	0.9872	1.0992	182.1	110
115	0.15571	506.7	2.0864	0.9936	1.0976	183.4		0.14819	506.6	2.0822	0.9942	1.0980	183.3	115
120	0.15783	511.7	2.0991	1.0007	1.0965	184.7		0.15020	511.6	2.0950	1.0013	1.0968	184.5	120
125	0.15995	516.7	2.1118	1.0078	1.0954	185.9		0.15223	516.6	2.1077	1.0083	1.0957	185.8	125
130	0.16207	521.8	2.1244	1.0148	1.0944	187.1		0.15423	521.7	2.1203	1.0153	1.0947	187.0	130
135	0.16418	526.8	2.1370	1.0218	1.0934	188.2		0.15623	526.8	2.1329	1.0223	1.0937	188.1	135
140	0.16628	532.0	2.1495	1.0288	1.0924	189.4		0.15825	531.9	2.1454	1.0293	1.0927	189.3	140
145	—	—	—	—	—	—		0.16028	537.1	2.1578	1.0362	1.0917	190.5	145

TEMP °C	PRESSURE = 220.00 kPa (abs)						SAT LIQ SAT VAP	PRESSURE = 230.00 kPa (abs)						TEMP °C
	V	H	S	Cp	Cp/Cv	v _s		V	H	S	Cp	Cp/Cv	v _s	
-7.64	0.00076	189.8	0.9624	1.3190	1.5144	660.2		0.00076	191.3	0.9681	1.3222	1.5154	654.9	-6.49
-7.64	0.09117	394.3	1.7325	0.8564	1.1686	147.0		0.08737	395.0	1.7317	0.8611	1.1699	147.0	-6.49
-5	0.09237	396.5	1.7410	0.8569	1.1649	148.0		0.08803	396.3	1.7365	0.8612	1.1677	147.6	-5
0	0.09462	400.8	1.7568	0.8585	1.1584	149.8		0.09020	400.6	1.7524	0.8624	1.1609	149.5	0
5	0.09683	405.1	1.7724	0.8611	1.1527	151.6		0.09234	404.9	1.7681	0.8645	1.1549	151.3	5
10	0.09901	409.4	1.7878	0.8643	1.1476	153.4		0.09444	409.2	1.7835	0.8674	1.1495	153.0	10
15	0.10116	413.8	1.8029	0.8682	1.1430	155.1		0.09651	413.6	1.7987	0.8709	1.1447	154.8	15
20	0.10330	418.1	1.8179	0.8725	1.1388	156.7		0.09856	417.9	1.8137	0.8751	1.1404	156.4	20
25	0.10540	422.5	1.8327	0.8774	1.1350	158.3		0.10059	422.3	1.8286	0.8796	1.1364	158.1	25
30	0.10749	426.9	1.8473	0.8825	1.1316	159.9		0.10260	426.7	1.8433	0.8846	1.1329	159.7	30
35	0.10957	431.3	1.8618	0.8880	1.1284	161.5		0.10459	431.2	1.8578	0.8900	1.1296	161.2	35
40	0.11162	435.8	1.8762	0.8938	1.1255	163.0		0.10656	435.6	1.8721	0.8956	1.1265	162.7	40
45	0.11365	440.3	1.8904	0.8998	1.1228	164.5		0.10853	440.1	1.8864	0.9014	1.1237	164.2	45
50	0.11569	444.8	1.9044	0.9060	1.1202	165.9		0.11047	444.6	1.9005	0.9075	1.1211	165.7	50
55	0.11772	449.3	1.9184	0.9124	1.1179	167.4		0.11242	449.2	1.9145	0.9138	1.1187	167.2	55
60	0.11970	453.9	1.9322	0.9189	1.1157	168.8		0.11435	453.8	1.9283	0.9202	1.1165	168.6	60
65	0.12171	458.5	1.9460	0.9255	1.1136	170.2		0.11627	458.4	1.9421	0.9267	1.1144	170.0	65
70	0.12370	463.2	1.9596	0.9322	1.1117	171.6		0.11818	463.0	1.9557	0.9333	1.1124	171.4	70
75	0.12569	467.8	1.9732	0.9390	1.1099	172.9		0.12008	467.7	1.9693	0.9400	1.1105	172.7	75
80	0.12765	472.6	1.9866	0.9459	1.1082	174.3		0.12198	472.4	1.9827	0.9468	1.1088	174.1	80
85	0.12962	477.3	1.9999	0.9528	1.1066	175.6		0.12387	477.2	1.9961	0.9537	1.1071	175.4	85
90	0.13158	482.1	2.0132	0.9598	1.1050	176.9		0.12574	482.0	2.0094	0.9606	1.1055	176.7	90
95	0.13355	486.9	2.0264	0.9667	1.1035	178.2		0.12763	486.8	2.0225	0.9675	1.1040	178.0	95
100	0.13550	491.7	2.0395	0.9737	1.1022	179.5		0.12950	491.6	2.0356	0.9745	1.1026	179.3	100
105	0.13746	496.6	2.0525	0.9808	1.1008	180.7		0.13135	496.5	2.0487	0.9814	1.1012	180.6	105
110	0.13939	501.6	2.0654	0.9878	1.0996	182.0		0.13323	501.5	2.0616	0.9884	1.1000	181.8	110
115	0.14132	506.5	2.0782	0.9948	1.0983	183.2		0.13508	506.4	2.0745	0.9954	1.0987	183.1	115
120	0.14327	511.5	2.0910	1.0018	1.0972	184.4		0.13693	511.4	2.0872	1.0024	1.0975	184.3	120
125	0.14520	516.5	2.1037	1.0088	1.0961	185.7		0.13879	516.4	2.1000	1.0094	1.0964	185.5	125
130	0.14712	521.6	2.1164	1.0158	1.0950	186.9		0.14063	521.5	2.1126	1.0163	1.0953	186.8	130
135	0.14905	526.7	2.1289	1.0228	1.0940	188.0		0.14247	526.6	2.1252	1.0233	1.0943	188.0	135
140	0.15099	531.8	2.1414	1.0297	1.0930	189.2		0.14430	531.7	2.1377	1.0302	1.0933	189.1	140
145	0.15288	537.0	2.1538	1.0366	1.0920	190.4		0.14616	536.9	2.1501	1.0371	1.0923	190.3	145

TABLE 2 (continued)
HFC-134a Superheated Vapor—Constant Pressure Tables

v = Volume in m³/kg H = Enthalpy in kJ/kg S = Entropy in kJ/(kg)(K) v_s = Velocity of Sound in m/sec
 Cp = Heat Capacity at Constant Pressure in kJ/(kg)(°C) Cp/Cv = Heat Capacity Ratio (Dimensionless)

TEMP °C	PRESSURE = 240.00 kPa (abs)						SAT LIQ SAT VAP	PRESSURE = 250.00 kPa (abs)						TEMP °C
	V	H	S	Cp	Cp/Cv	v _s		V	H	S	Cp	Cp/Cv	v _s	
-5.37	0.00076	192.8	0.9736	1.3254	1.5164	649.7		0.00077	194.3	0.9790	1.3285	1.5174	644.8	-4.29
-5.37	0.08389	395.6	1.7310	0.8656	1.1711	147.0		0.08067	396.3	1.7303	0.8701	1.1724	147.0	-4.29
-5	0.08405	396.0	1.7322	0.8657	1.1706	147.2		—	—	—	—	—	—	-5
0	0.08615	400.3	1.7482	0.8663	1.1634	149.1		0.08241	400.0	1.7441	0.8703	1.1660	148.7	0
5	0.08821	404.6	1.7639	0.8680	1.1571	150.9		0.08442	404.4	1.7599	0.8715	1.1594	150.6	5
10	0.09024	409.0	1.7794	0.8705	1.1515	152.7		0.08638	408.7	1.7754	0.8737	1.1535	152.4	10
15	0.09224	413.3	1.7947	0.8738	1.1465	154.4		0.08832	413.1	1.7908	0.8766	1.1483	154.1	15
20	0.09422	417.7	1.8097	0.8776	1.1420	156.1		0.09023	417.5	1.8059	0.8802	1.1436	155.8	20
25	0.09618	422.1	1.8246	0.8820	1.1379	157.8		0.09212	421.9	1.8208	0.8843	1.1393	157.5	25
30	0.09812	426.5	1.8393	0.8867	1.1341	159.4		0.09399	426.3	1.8355	0.8889	1.1355	159.1	30
35	0.10004	431.0	1.8539	0.8919	1.1307	161.0		0.09584	430.8	1.8501	0.8938	1.1319	160.7	35
40	0.10194	435.4	1.8683	0.8973	1.1276	162.5		0.09768	435.3	1.8645	0.8991	1.1287	162.3	40
45	0.10383	439.9	1.8825	0.9030	1.1247	164.0		0.09951	439.8	1.8788	0.9047	1.1257	163.8	45
50	0.10571	444.5	1.8967	0.9090	1.1220	165.5		0.10131	444.3	1.8930	0.9105	1.1230	165.3	50
55	0.10757	449.0	1.9107	0.9151	1.1196	167.0		0.10310	448.9	1.9070	0.9165	1.1204	166.8	55
60	0.10942	453.6	1.9245	0.9214	1.1172	168.4		0.10489	453.5	1.9209	0.9227	1.1180	168.2	60
65	0.11127	458.3	1.9383	0.9278	1.1151	169.8		0.10668	458.1	1.9347	0.9290	1.1158	169.6	65
70	0.11311	462.9	1.9520	0.9344	1.1130	171.2		0.10845	462.8	1.9484	0.9355	1.1137	171.0	70
75	0.11494	467.6	1.9656	0.9410	1.1111	172.6		0.11019	467.5	1.9620	0.9421	1.1118	172.4	75
80	0.11675	472.3	1.9790	0.9478	1.1093	173.9		0.11197	472.2	1.9755	0.9487	1.1099	173.8	80
85	0.11857	477.1	1.9924	0.9546	1.1076	175.3		0.11371	477.0	1.9888	0.9554	1.1082	175.1	85
90	0.12038	481.9	2.0057	0.9614	1.1060	176.6		0.11545	481.8	2.0021	0.9622	1.1065	176.5	90
95	0.12219	486.7	2.0189	0.9683	1.1045	177.9		0.11718	486.6	2.0153	0.9690	1.1050	177.8	95
100	0.12398	491.5	2.0320	0.9752	1.1030	179.2		0.11891	491.4	2.0285	0.9759	1.1035	179.1	100
105	0.12577	496.4	2.0450	0.9821	1.1017	180.5		0.12064	496.3	2.0415	0.9828	1.1021	180.3	105
110	0.12755	501.4	2.0579	0.9891	1.1004	181.7		0.12235	501.3	2.0544	0.9897	1.1008	181.6	110
115	0.12935	506.3	2.0708	0.9960	1.0991	183.0		0.12407	506.2	2.0673	0.9966	1.0995	182.9	115
120	0.13111	511.3	2.0836	1.0030	1.0979	184.2		0.12579	511.2	2.0801	1.0035	1.0983	184.1	120
125	0.13291	516.4	2.0963	1.0099	1.0967	185.4		0.12750	516.3	2.0928	1.0104	1.0971	185.3	125
130	0.13466	521.4	2.1090	1.0168	1.0956	186.7		0.12920	521.3	2.1055	1.0173	1.0960	186.5	130
135	0.13646	526.5	2.1216	1.0237	1.0946	187.9		0.13092	526.4	2.1181	1.0242	1.0949	187.8	135
140	0.13824	531.7	2.1341	1.0306	1.0936	189.0		0.13261	531.6	2.1306	1.0311	1.0938	189.0	140
145	0.13998	536.8	2.1465	1.0375	1.0926	190.2		0.13432	536.8	2.1430	1.0379	1.0929	190.1	145
150	—	—	—	—	—	—		0.13600	542.0	2.1554	1.0448	1.0919	191.3	150

TEMP °C	PRESSURE = 260.00 kPa (abs)						SAT LIQ SAT VAP	PRESSURE = 270.00 kPa (abs)						TEMP °C
	V	H	S	Cp	Cp/Cv	v _s		V	H	S	Cp	Cp/Cv	v _s	
-3.24	0.00077	195.7	0.9841	1.3315	1.5184	640.0		0.00077	197.0	0.9891	1.3345	1.5194	635.3	-2.23
-3.24	0.07769	396.9	1.7297	0.8745	1.1737	147.0		0.07493	397.5	1.7291	0.8787	1.1749	147.0	-2.23
0	0.07897	399.7	1.7401	0.8744	1.1687	148.3		0.07578	399.5	1.7363	0.8785	1.1714	147.1	0
5	0.08091	404.1	1.7560	0.8752	1.1617	150.2		0.07766	403.8	1.7522	0.8788	1.1641	149.8	5
10	0.08282	408.5	1.7716	0.8769	1.1556	152.0		0.07951	408.2	1.7679	0.8802	1.1577	151.7	10
15	0.08469	412.9	1.7870	0.8795	1.1501	153.8		0.08133	412.6	1.7833	0.8825	1.1520	153.5	15
20	0.08654	417.3	1.8021	0.8828	1.1452	155.5		0.08313	417.1	1.7985	0.8855	1.1469	155.2	20
25	0.08837	421.7	1.8171	0.8867	1.1408	157.2		0.08490	421.5	1.8135	0.8891	1.1423	156.9	25
30	0.09018	426.1	1.8319	0.8910	1.1368	158.9		0.08666	426.0	1.8283	0.8932	1.1381	158.6	30
35	0.09197	430.6	1.8465	0.8958	1.1331	160.5		0.08839	430.4	1.8430	0.8978	1.1344	160.2	35
40	0.09375	435.1	1.8610	0.9009	1.1298	162.0		0.09011	434.9	1.8575	0.9027	1.1309	161.8	40
45	0.09550	439.6	1.8753	0.9063	1.1267	163.6		0.09181	439.5	1.8718	0.9080	1.1277	163.4	45
50	0.09725	444.2	1.8894	0.9120	1.1239	165.1		0.09350	444.0	1.8860	0.9135	1.1248	164.9	50
55	0.09899	448.7	1.9035	0.9179	1.1213	166.6		0.09517	448.6	1.9001	0.9193	1.1221	166.4	55
60	0.10073	453.4	1.9174	0.9240	1.1188	168.0		0.09685	453.2	1.9140	0.9253	1.1196	167.8	60
65	0.10243	458.0	1.9312	0.9302	1.1165	169.5		0.09851	457.9	1.9279	0.9314	1.1173	169.3	65
70	0.10414	462.7	1.9449	0.9366	1.1144	170.9		0.10016	462.5	1.9416	0.9377	1.1151	170.7	70
75	0.10583	467.4	1.9585	0.9431	1.1124	172.3		0.10180	467.2	1.9552	0.9441	1.1130	172.1	75
80	0.10753	472.1	1.9720	0.9497	1.1105	173.6		0.10342	472.0	1.9687	0.9506	1.1111	173.5	80
85	0.10921	476.8	1.9854	0.9563	1.1087	175.0		0.10505	476.7	1.9821	0.9572	1.1093	174.8	85
90	0.11089	481.6	1.9987	0.9630	1.1071	176.3		0.10668	481.5	1.9954	0.9639	1.1076	176.2	90
95	0.11256	486.5	2.0119	0.9698	1.1055	177.6		0.10830	486.4	2.0087	0.9706	1.1059	177.5	95
100	0.11425	491.3	2.0251	0.9766	1.1040	178.9		0.10990	491.2	2.0218	0.9774	1.1044	178.8	100
105	0.11590	496.2	2.0381	0.9835	1.1025	180.2		0.11151	496.1	2.0348	0.9842	1.1029	180.1	105
110	0.11755	501.2	2.0511	0.9903	1.1012	181.5		0.11311	501.1	2.0478	0.9910	1.1016	181.4	110
115	0.11922	506.1	2.0640	0.9972	1.0999	182.7		0.11471	506.1	2.0607	0.9978	1.1002	182.6	115
120	0.12086	511.2	2.0768	1.0041	1.0986	184.0		0.11629	511.1	2.0735	1.0047	1.0990	183.9	120
125	0.12249	516.2	2.0895	1.0110	1.0974	185.2		0.11788	516.1	2.0863	1.0115	1.0978	185.1	125
130	0.12416	521.3	2.1022	1.0178	1.0963	186.4		0.11946	521.2	2.0989	1.0183	1.0966	186.3	130
135	0.12579	526.4	2.1147	1.0247	1.0952	187.7		0.12105	526.3	2.1115	1.0252	1.0955	187.6	135
140	0.12744	531.5	2.1273	1.0315	1.0941	188.9		0.12264	531.4	2.1241	1.0320	1.0944	188.8	140
145	0.12907	536.7	2.1397	1.0384	1.0931	190.0		0.12422	536.6	2.1365	1.0388	1.0934	190.0	145
150	0.13068	541.9	2.1521	1.0452	1.0922	191.2		0.12577	541.8	2.1489	1.0456	1.0924	191.1	150

TABLE 2 (continued)
HFC-134a Superheated Vapor—Constant Pressure Tables

V = Volume in m³/kg H = Enthalpy in kJ/kg S = Entropy in kJ/(kg)(K) v_s = Velocity of Sound in m/sec
 Cp = Heat Capacity at Constant Pressure in kJ/(kg)(°C) Cp/Cv = Heat Capacity Ratio (Dimensionless)

TEMP °C	PRESSURE = 280.00 kPa (abs)						SAT LIQ SAT VAP	PRESSURE = 290.00 kPa (abs)						TEMP °C
	V	H	S	Cp	Cp/Cv	v _s		V	H	S	Cp	Cp/Cv	v _s	
-1.24	0.00077	198.3	0.9939	1.3374	1.5204	630.8		0.00077	199.6	0.9986	1.3403	1.5214	626.4	-0.28
-1.24	0.07235	398.1	1.7285	0.8830	1.1762	147.0		0.06995	398.6	1.7280	0.8871	1.1774	147.0	-0.28
0	0.07281	399.2	1.7325	0.8827	1.1741	147.5		0.07005	398.9	1.7289	0.8870	1.1770	147.1	0
5	0.07464	403.6	1.7485	0.8826	1.1665	149.5		0.07183	403.3	1.7449	0.8864	1.1690	149.1	5
10	0.07645	408.0	1.7643	0.8835	1.1598	151.3		0.07359	407.8	1.7607	0.8869	1.1620	151.0	10
15	0.07822	412.4	1.7797	0.8854	1.1539	153.2		0.07531	412.2	1.7763	0.8885	1.1558	152.8	15
20	0.07996	416.9	1.7950	0.8881	1.1486	154.9		0.07701	416.6	1.7916	0.8909	1.1503	154.6	20
25	0.08168	421.3	1.8100	0.8915	1.1438	156.7		0.07867	421.1	1.8067	0.8939	1.1454	156.4	25
30	0.08338	425.8	1.8249	0.8954	1.1395	158.3		0.08033	425.6	1.8216	0.8976	1.1409	158.1	30
35	0.08506	430.3	1.8396	0.8998	1.1356	160.0		0.08196	430.1	1.8363	0.9018	1.1369	159.7	35
40	0.08672	434.8	1.8541	0.9045	1.1320	161.6		0.08358	434.6	1.8508	0.9064	1.1332	161.3	40
45	0.08837	439.3	1.8685	0.9096	1.1288	163.1		0.08517	439.1	1.8652	0.9113	1.1298	162.9	45
50	0.09001	443.9	1.8827	0.9150	1.1258	164.7		0.08676	443.7	1.8795	0.9166	1.1267	164.4	50
55	0.09163	448.5	1.8968	0.9207	1.1230	166.2		0.08835	448.3	1.8936	0.9221	1.1239	166.0	55
60	0.09325	453.1	1.9108	0.9266	1.1204	167.6		0.08990	452.9	1.9076	0.9279	1.1212	167.4	60
65	0.09485	457.7	1.9246	0.9326	1.1180	169.1		0.09145	457.6	1.9215	0.9338	1.1187	168.9	65
70	0.09645	462.4	1.9383	0.9388	1.1158	170.5		0.09301	462.3	1.9352	0.9399	1.1164	170.3	70
75	0.09804	467.1	1.9520	0.9451	1.1137	171.9		0.09455	467.0	1.9489	0.9462	1.1143	171.8	75
80	0.09962	471.8	1.9655	0.9516	1.1117	173.3		0.09606	471.7	1.9624	0.9525	1.1123	173.1	80
85	0.10118	476.6	1.9789	0.9581	1.1098	174.7		0.09760	476.5	1.9758	0.9590	1.1104	174.5	85
90	0.10275	481.4	1.9922	0.9647	1.1081	176.0		0.09911	481.3	1.9892	0.9656	1.1086	175.9	90
95	0.10432	486.3	2.0055	0.9714	1.1064	177.3		0.10062	486.2	2.0024	0.9722	1.1069	177.2	95
100	0.10588	491.1	2.0186	0.9781	1.1049	178.7		0.10213	491.0	2.0156	0.9788	1.1053	178.5	100
105	0.10743	496.1	2.0317	0.9848	1.1034	180.0		0.10363	496.0	2.0286	0.9855	1.1038	179.8	105
110	0.10897	501.0	2.0447	0.9916	1.1020	181.2		0.10512	500.9	2.0416	0.9923	1.1024	181.1	110
115	0.11052	506.0	2.0576	0.9984	1.1006	182.5		0.10663	505.9	2.0546	0.9990	1.1010	182.4	115
120	0.11206	511.0	2.0704	1.0052	1.0993	183.8		0.10812	510.9	2.0674	1.0058	1.0997	183.7	120
125	0.11358	516.0	2.0831	1.0120	1.0981	185.0		0.10960	515.9	2.0801	1.0126	1.0985	184.9	125
130	0.11511	521.1	2.0958	1.0189	1.0969	186.2		0.11107	521.0	2.0928	1.0194	1.0973	186.1	130
135	0.11665	526.2	2.1084	1.0257	1.0958	187.5		0.11256	526.1	2.1054	1.0262	1.0961	187.4	135
140	0.11818	531.4	2.1209	1.0325	1.0947	188.7		0.11404	531.3	2.1180	1.0329	1.0950	188.6	140
145	0.11969	536.5	2.1334	1.0392	1.0937	189.9		0.11550	536.5	2.1304	1.0397	1.0940	189.8	145
150	0.12121	541.7	2.1458	1.0460	1.0927	191.0		0.11697	541.7	2.1428	1.0464	1.0930	191.0	150

TEMP °C	PRESSURE = 300.00 kPa (abs)						SAT LIQ SAT VAP	PRESSURE = 310.00 kPa (abs)						TEMP °C
	V	H	S	Cp	Cp/Cv	v _s		V	H	S	Cp	Cp/Cv	v _s	
0.66	0.00077	200.9	1.0032	1.3431	1.5225	622.1		0.00078	202.1	1.0077	1.3459	1.5235	617.9	1.57
0.66	0.06770	399.2	1.7275	0.8912	1.1787	147.0		0.06559	399.7	1.7270	0.8952	1.1800	146.9	1.57
5	0.06921	403.1	1.7415	0.8902	1.1715	148.7		0.06676	402.8	1.7381	0.8942	1.1741	148.3	5
10	0.07092	407.5	1.7573	0.8904	1.1642	150.7		0.06842	407.3	1.7540	0.8938	1.1665	150.3	10
15	0.07260	412.0	1.7729	0.8915	1.1578	152.5		0.07006	411.7	1.7696	0.8947	1.1598	152.2	15
20	0.07424	416.4	1.7883	0.8936	1.1521	154.3		0.07166	416.2	1.7850	0.8964	1.1538	154.0	20
25	0.07587	420.9	1.8034	0.8964	1.1469	156.1		0.07325	420.7	1.8002	0.8989	1.1485	155.8	25
30	0.07748	425.4	1.8183	0.8998	1.1423	157.8		0.07481	425.2	1.8152	0.9021	1.1438	157.5	30
35	0.07906	429.9	1.8331	0.9038	1.1381	159.5		0.07635	429.7	1.8300	0.9059	1.1394	159.2	35
40	0.08063	434.4	1.8477	0.9082	1.1343	161.1		0.07788	434.3	1.8446	0.9101	1.1355	160.8	40
45	0.08219	439.0	1.8621	0.9130	1.1309	162.7		0.07939	438.8	1.8590	0.9147	1.1319	162.4	45
50	0.08372	443.6	1.8764	0.9181	1.1277	164.2		0.08090	443.4	1.8734	0.9197	1.1287	164.0	50
55	0.08525	448.2	1.8905	0.9236	1.1247	165.8		0.08239	448.0	1.8875	0.9250	1.1256	165.6	55
60	0.08678	452.8	1.9045	0.9292	1.1220	167.3		0.08385	452.7	1.9015	0.9305	1.1228	167.1	60
65	0.08829	457.5	1.9184	0.9350	1.1195	168.7		0.08532	457.3	1.9154	0.9363	1.1203	168.5	65
70	0.08978	462.1	1.9322	0.9411	1.1171	170.2		0.08678	462.0	1.9292	0.9422	1.1178	170.0	70
75	0.09128	466.9	1.9458	0.9472	1.1149	171.6		0.08821	466.7	1.9429	0.9483	1.1156	171.4	75
80	0.09276	471.6	1.9594	0.9535	1.1129	173.0		0.08967	471.5	1.9565	0.9545	1.1135	172.8	80
85	0.09424	476.4	1.9728	0.9599	1.1110	174.4		0.09111	476.3	1.9699	0.9608	1.1115	174.2	85
90	0.09571	481.2	1.9862	0.9664	1.1091	175.7		0.09253	481.1	1.9833	0.9672	1.1097	175.6	90
95	0.09718	486.1	1.9994	0.9730	1.1074	177.1		0.09395	486.0	1.9966	0.9737	1.1079	176.9	95
100	0.09863	490.9	2.0126	0.9796	1.1058	178.4		0.09536	490.8	2.0097	0.9803	1.1063	178.3	100
105	0.10009	495.9	2.0257	0.9862	1.1042	179.7		0.09678	495.8	2.0228	0.9869	1.1047	179.6	105
110	0.10153	500.8	2.0387	0.9929	1.1028	181.0		0.09818	500.7	2.0359	0.9936	1.1032	180.9	110
115	0.10299	505.8	2.0516	0.9996	1.1014	182.3		0.09958	505.7	2.0488	1.0003	1.1018	182.2	115
120	0.10444	510.8	2.0645	1.0064	1.1001	183.5		0.10098	510.7	2.0616	1.0070	1.1004	183.4	120
125	0.10585	515.9	2.0772	1.0131	1.0988	184.8		0.10236	515.8	2.0744	1.0137	1.0991	184.7	125
130	0.10730	520.9	2.0899	1.0199	1.0976	186.0		0.10376	520.9	2.0871	1.0204	1.0979	185.9	130
135	0.10873	526.1	2.1025	1.0266	1.0964	187.3		0.10514	526.0	2.0997	1.0271	1.0967	187.2	135
140	0.11017	531.2	2.1151	1.0334	1.0953	188.5		0.10654	531.1	2.1122	1.0338	1.0956	188.4	140
145	0.11158	536.4	2.1275	1.0401	1.0943	189.7		0.10791	536.3	2.1247	1.0406	1.0945	189.6	145
150	0.11301	541.6	2.1399	1.0468	1.0932	190.9		0.10929	541.5	2.1371	1.0472	1.0935	190.8	150
155	0.11442	546.9	2.1523	1.0535	1.0922	192.1		0.11067	546.8	2.1495	1.0539	1.0925	192.0	155

TABLE 2 (continued)
HFC-134a Superheated Vapor—Constant Pressure Tables

ρ = Volume in m³/kg H = Enthalpy in kJ/kg S = Entropy in kJ/(kg)(K) v_s = Velocity of Sound in m/sec
 p = Heat Capacity at Constant Pressure in kJ/(kg)(°C) Cp/Cv = Heat Capacity Ratio (Dimensionless)

TEMP °C	PRESSURE = 320.00 kPa (abs)						SAT LIQ SAT VAP	PRESSURE = 330.00 kPa (abs)						TEMP °C
	V	H	S	Cp	Cp/Cv	v_s		V	H	S	Cp	Cp/Cv	v_s	
2.46	0.00078	203.3	1.0120	1.3486	1.5245	613.8		0.00078	204.5	1.0162	1.3514	1.5256	609.8	3.33
2.46	0.06361	400.2	1.7265	0.8991	1.1813	146.9		0.06174	400.7	1.7260	0.9030	1.1825	146.9	3.33
5	0.06445	402.5	1.7347	0.8982	1.1768	148.0		0.06229	402.2	1.7315	0.9023	1.1795	147.6	5
10	0.06608	407.0	1.7507	0.8974	1.1688	149.9		0.06388	406.8	1.7475	0.9010	1.1712	149.6	10
15	0.06768	411.5	1.7664	0.8978	1.1618	151.9		0.06544	411.3	1.7633	0.9010	1.1639	151.5	15
20	0.06924	416.0	1.7819	0.8992	1.1557	153.7		0.06697	415.8	1.7788	0.9021	1.1575	153.4	20
25	0.07079	420.5	1.7971	0.9015	1.1501	155.5		0.06848	420.3	1.7941	0.9040	1.1518	155.2	25
30	0.07231	425.0	1.8121	0.9044	1.1452	157.3		0.06996	424.8	1.8091	0.9067	1.1467	157.0	30
35	0.07382	429.5	1.8269	0.9080	1.1407	159.0		0.07143	429.3	1.8240	0.9101	1.1421	158.7	35
40	0.07530	434.1	1.8416	0.9120	1.1367	160.6		0.07288	433.9	1.8387	0.9139	1.1379	160.4	40
45	0.07678	438.7	1.8561	0.9165	1.1330	162.2		0.07432	438.5	1.8532	0.9182	1.1341	162.0	45
50	0.07824	443.2	1.8704	0.9213	1.1296	163.8		0.07574	443.1	1.8675	0.9229	1.1306	163.6	50
55	0.07967	447.9	1.8846	0.9264	1.1265	165.3		0.07715	447.7	1.8818	0.9279	1.1274	165.1	55
60	0.08112	452.5	1.8986	0.9319	1.1237	166.9		0.07854	452.4	1.8958	0.9332	1.1245	166.7	60
65	0.08254	457.2	1.9126	0.9375	1.1210	168.4		0.07993	457.0	1.9098	0.9387	1.1218	168.2	65
70	0.08396	461.9	1.9264	0.9433	1.1186	169.8		0.08131	461.8	1.9236	0.9445	1.1193	169.6	70
75	0.08537	466.6	1.9401	0.9493	1.1163	171.3		0.08267	466.5	1.9373	0.9504	1.1169	171.1	75
80	0.08676	471.4	1.9536	0.9555	1.1141	172.7		0.08403	471.3	1.9509	0.9565	1.1147	172.5	80
85	0.08816	476.2	1.9671	0.9617	1.1121	174.1		0.08538	476.1	1.9644	0.9627	1.1127	173.9	85
90	0.08953	481.0	1.9805	0.9681	1.1102	175.4		0.08675	480.9	1.9778	0.9690	1.1107	175.3	90
95	0.09092	485.9	1.9938	0.9745	1.1084	176.8		0.08807	485.7	1.9910	0.9753	1.1089	176.7	95
100	0.09229	490.7	2.0070	0.9811	1.1067	178.1		0.08941	490.6	2.0042	0.9818	1.1072	178.0	100
105	0.09366	495.7	2.0201	0.9876	1.1051	179.5		0.09074	495.6	2.0174	0.9883	1.1056	179.3	105
110	0.09504	500.6	2.0331	0.9942	1.1036	180.8		0.09208	500.5	2.0304	0.9949	1.1040	180.6	110
115	0.09639	505.6	2.0460	1.0009	1.1022	182.0		0.09339	505.5	2.0433	1.0015	1.1026	181.9	115
120	0.09775	510.6	2.0589	1.0075	1.1008	183.3		0.09471	510.5	2.0562	1.0081	1.1012	183.2	120
125	0.09910	515.7	2.0716	1.0142	1.0995	184.6		0.09603	515.6	2.0690	1.0148	1.0998	184.5	125
130	0.10046	520.8	2.0843	1.0209	1.0983	185.8		0.09735	520.7	2.0817	1.0214	1.0986	185.7	130
135	0.10180	525.9	2.0970	1.0276	1.0971	187.1		0.09864	525.8	2.0943	1.0281	1.0974	187.0	135
140	0.10316	531.0	2.1095	1.0343	1.0959	188.3		0.09995	531.0	2.1069	1.0348	1.0962	188.2	140
145	0.10448	536.2	2.1220	1.0410	1.0948	189.5		0.10126	536.2	2.1194	1.0414	1.0951	189.4	145
150	0.10582	541.5	2.1344	1.0477	1.0938	190.7		0.10255	541.4	2.1318	1.0481	1.0940	190.6	150
155	0.10717	546.7	2.1468	1.0543	1.0928	191.9		0.10384	546.6	2.1441	1.0547	1.0930	191.8	155

TEMP °C	PRESSURE = 340.00 kPa (abs)						SAT LIQ SAT VAP	PRESSURE = 350.00 kPa (abs)						TEMP °C
	V	H	S	Cp	Cp/Cv	v_s		V	H	S	Cp	Cp/Cv	v_s	
4.18	0.00078	205.6	1.0204	1.3541	1.5266	605.9		0.00078	206.8	1.0244	1.3567	1.5276	602.1	5.01
4.18	0.05998	401.2	1.7256	0.9069	1.1838	146.8		0.05832	401.7	1.7252	0.9106	1.1851	146.8	5.01
5	0.06024	402.0	1.7283	0.9064	1.1823	147.2		—	—	—	—	—	—	5
10	0.06180	406.5	1.7444	0.9047	1.1736	149.2		0.05985	406.2	1.7414	0.9084	1.1761	148.9	10
15	0.06333	411.0	1.7602	0.9043	1.1660	151.2		0.06134	410.8	1.7572	0.9076	1.1682	150.9	15
20	0.06483	415.5	1.7758	0.9050	1.1594	153.1		0.06281	415.3	1.7729	0.9079	1.1613	152.8	20
25	0.06630	420.1	1.7911	0.9066	1.1535	154.9		0.06425	419.9	1.7882	0.9093	1.1552	154.6	25
30	0.06776	424.6	1.8062	0.9091	1.1482	156.7		0.06567	424.4	1.8034	0.9115	1.1497	156.4	30
35	0.06919	429.2	1.8211	0.9122	1.1434	158.4		0.06706	429.0	1.8183	0.9143	1.1448	158.2	35
40	0.07060	433.7	1.8358	0.9158	1.1391	160.1		0.06845	433.6	1.8330	0.9178	1.1403	159.9	40
45	0.07200	438.3	1.8504	0.9200	1.1352	161.8		0.06981	438.2	1.8476	0.9217	1.1363	161.5	45
50	0.07339	442.9	1.8648	0.9245	1.1316	163.4		0.07116	442.8	1.8620	0.9261	1.1327	163.1	50
55	0.07476	447.6	1.8790	0.9294	1.1284	164.9		0.07250	447.4	1.8763	0.9309	1.1293	164.7	55
60	0.07612	452.2	1.8931	0.9346	1.1254	166.5		0.07383	452.1	1.8904	0.9359	1.1262	166.3	60
65	0.07747	456.9	1.9070	0.9400	1.1226	168.0		0.07515	456.8	1.9044	0.9412	1.1234	167.8	65
70	0.07880	461.6	1.9209	0.9456	1.1200	169.5		0.07645	461.5	1.9182	0.9468	1.1207	169.3	70
75	0.08013	466.4	1.9346	0.9515	1.1176	170.9		0.07775	466.2	1.9320	0.9525	1.1183	170.7	75
80	0.08146	471.1	1.9482	0.9575	1.1153	172.3		0.07904	471.0	1.9456	0.9585	1.1160	172.2	80
85	0.08280	475.9	1.9617	0.9636	1.1132	173.8		0.08033	475.8	1.9591	0.9645	1.1138	173.6	85
90	0.08410	480.8	1.9751	0.9698	1.1113	175.1		0.08161	480.7	1.9725	0.9707	1.1118	175.0	90
95	0.08540	485.6	1.9884	0.9761	1.1094	176.5		0.08287	485.5	1.9858	0.9770	1.1099	176.4	95
100	0.08669	490.5	2.0016	0.9826	1.1077	177.9		0.08414	490.4	1.9991	0.9833	1.1081	177.7	100
105	0.08800	495.5	2.0147	0.9890	1.1060	179.2		0.08541	495.4	2.0122	0.9897	1.1065	179.1	105
110	0.08929	500.4	2.0278	0.9955	1.1044	180.5		0.08666	500.3	2.0252	0.9962	1.1049	180.4	110
115	0.09058	505.4	2.0407	1.0021	1.1030	181.8		0.08790	505.3	2.0382	1.0027	1.1034	181.7	115
120	0.09184	510.4	2.0536	1.0087	1.1015	183.1		0.08916	510.4	2.0511	1.0093	1.1019	183.0	120
125	0.09314	515.5	2.0664	1.0153	1.1002	184.4		0.09041	515.4	2.0639	1.0159	1.1006	184.3	125
130	0.09440	520.6	2.0791	1.0220	1.0989	185.6		0.09165	520.5	2.0766	1.0225	1.0993	185.5	130
135	0.09568	525.7	2.0917	1.0286	1.0977	186.9		0.09289	525.6	2.0892	1.0291	1.0980	186.8	135
140	0.09696	530.9	2.1043	1.0352	1.0965	188.1		0.09413	530.8	2.1018	1.0357	1.0968	188.0	140
145	0.09822	536.1	2.1168	1.0419	1.0954	189.3		0.09536	536.0	2.1143	1.0423	1.0957	189.2	145
150	0.09948	541.3	2.1292	1.0485	1.0943	190.5		0.09658	541.2	2.1267	1.0489	1.0946	190.4	150
155	0.10074	546.6	2.1416	1.0551	1.0933	191.7		0.09781	546.5	2.1391	1.0555	1.0935	191.6	155
160	—	—	—	—	—	—		0.09904	551.8	2.1514	1.0621	1.0925	192.8	160

TABLE 2 (continued)
HFC-134a Superheated Vapor—Constant Pressure Tables

V = Volume in m³/kg H = Enthalpy in kJ/kg S = Entropy in kJ/(kg)(K) v_s = Velocity of Sound in m/sec
 Cp = Heat Capacity at Constant Pressure in kJ/(kg)(°C) Cp/Cv = Heat Capacity Ratio (Dimensionless)

TEMP °C	PRESSURE = 360.00 kPa (abs)						SAT LIQ SAT VAP	PRESSURE = 370.00 kPa (abs)						TEMP °C
	V	H	S	Cp	Cp/Cv	v _s		V	H	S	Cp	Cp/Cv	v _s	
5.82	0.00078	207.9	1.0283	1.3593	1.5287	598.3		0.00079	209.0	1.0322	1.3619	1.5297	594.7	6.62
5.82	0.05675	402.2	1.7248	0.9144	1.1864	146.7		0.05526	402.6	1.7244	0.9181	1.1877	146.7	6.62
10	0.05800	406.0	1.7384	0.9122	1.1786	148.5		0.05625	405.7	1.7354	0.9160	1.1812	148.1	10
15	0.05946	410.5	1.7543	0.9109	1.1704	150.5		0.05769	410.3	1.7514	0.9143	1.1727	150.2	15
20	0.06090	415.1	1.7700	0.9109	1.1632	152.5		0.05909	414.9	1.7672	0.9140	1.1652	152.1	20
25	0.06231	419.7	1.7854	0.9120	1.1569	154.3		0.06047	419.4	1.7826	0.9147	1.1586	154.0	25
30	0.06370	424.2	1.8006	0.9139	1.1512	156.2		0.06184	424.0	1.7979	0.9163	1.1528	155.9	30
35	0.06507	428.8	1.8156	0.9165	1.1462	157.9		0.06317	428.6	1.8129	0.9187	1.1476	157.7	35
40	0.06641	433.4	1.8303	0.9198	1.1416	159.6		0.06449	433.2	1.8277	0.9217	1.1429	159.4	40
45	0.06775	438.0	1.8449	0.9235	1.1375	161.3		0.06580	437.8	1.8423	0.9253	1.1386	161.1	45
50	0.06907	442.6	1.8594	0.9278	1.1337	162.9		0.06708	442.5	1.8568	0.9294	1.1347	162.7	50
55	0.07037	447.3	1.8736	0.9324	1.1302	164.5		0.06836	447.1	1.8711	0.9339	1.1312	164.3	55
60	0.07167	451.9	1.8878	0.9373	1.1271	166.1		0.06962	451.8	1.8852	0.9387	1.1279	165.9	60
65	0.07296	456.6	1.9018	0.9425	1.1242	167.6		0.07088	456.5	1.8992	0.9438	1.1250	167.4	65
70	0.07423	461.4	1.9156	0.9480	1.1215	169.1		0.07213	461.2	1.9131	0.9491	1.1222	168.9	70
75	0.07551	466.1	1.9294	0.9536	1.1189	170.6		0.07336	466.0	1.9269	0.9547	1.1196	170.4	75
80	0.07676	470.9	1.9430	0.9595	1.1166	172.0		0.07459	470.8	1.9406	0.9605	1.1172	171.9	80
85	0.07800	475.7	1.9566	0.9654	1.1144	173.4		0.07582	475.6	1.9541	0.9664	1.1150	173.3	85
90	0.07925	480.6	1.9700	0.9716	1.1124	174.9		0.07702	480.4	1.9675	0.9724	1.1129	174.7	90
95	0.08050	485.4	1.9833	0.9778	1.1104	176.2		0.07824	485.3	1.9809	0.9786	1.1109	176.1	95
100	0.08173	490.3	1.9966	0.9841	1.1086	177.6		0.07945	490.2	1.9941	0.9848	1.1091	177.5	100
105	0.08295	495.3	2.0097	0.9904	1.1069	178.9		0.08065	495.2	2.0073	0.9912	1.1074	178.8	105
110	0.08418	500.2	2.0228	0.9969	1.1053	180.3		0.08184	500.1	2.0203	0.9975	1.1057	180.1	110
115	0.08540	505.2	2.0357	1.0034	1.1038	181.6		0.08304	505.1	2.0333	1.0040	1.1042	181.5	115
120	0.08663	510.3	2.0486	1.0099	1.1023	182.9		0.08420	510.2	2.0462	1.0105	1.1027	182.8	120
125	0.08783	515.3	2.0614	1.0164	1.1009	184.2		0.08540	515.3	2.0590	1.0170	1.1013	184.0	125
130	0.08904	520.4	2.0741	1.0230	1.0996	185.4		0.08657	520.4	2.0718	1.0235	1.0999	185.3	130
135	0.09024	525.6	2.0868	1.0296	1.0983	186.7		0.08776	525.5	2.0844	1.0301	1.0986	186.6	135
140	0.09146	530.7	2.0994	1.0362	1.0971	187.9		0.08891	530.7	2.0970	1.0366	1.0974	187.8	140
145	0.09264	535.9	2.1119	1.0428	1.0960	189.1		0.09009	535.9	2.1095	1.0432	1.0963	189.0	145
150	0.09385	541.2	2.1243	1.0493	1.0949	190.3		0.09126	541.1	2.1219	1.0498	1.0951	190.3	150
155	0.09504	546.4	2.1367	1.0559	1.0938	191.6		0.09241	546.4	2.1343	1.0563	1.0941	191.5	155
160	0.09623	551.7	2.1490	1.0625	1.0928	192.7		0.09358	551.7	2.1466	1.0628	1.0930	192.7	160

TEMP °C	PRESSURE = 380.00 kPa (abs)						SAT LIQ SAT VAP	PRESSURE = 390.00 kPa (abs)						TEMP °C
	V	H	S	Cp	Cp/Cv	v _s		V	H	S	Cp	Cp/Cv	v _s	
7.4	0.00079	210.0	1.0360	1.3645	1.5308	591.1		0.00079	211.1	1.0397	1.3670	1.5318	587.6	8.16
7.4	0.05384	403.1	1.7240	0.9218	1.1890	146.6		0.05250	403.5	1.7237	0.9254	1.1903	146.6	8.16
10	0.05459	405.5	1.7325	0.9200	1.1838	147.8		0.05302	405.2	1.7297	0.9240	1.1865	147.4	10
15	0.05600	410.1	1.7486	0.9178	1.1750	149.8		0.05440	409.8	1.7459	0.9213	1.1773	149.5	15
20	0.05738	414.6	1.7644	0.9170	1.1672	151.8		0.05576	414.4	1.7617	0.9201	1.1693	151.5	20
25	0.05874	419.2	1.7799	0.9174	1.1604	153.7		0.05708	419.0	1.7773	0.9202	1.1622	153.4	25
30	0.06007	423.8	1.7952	0.9188	1.1544	155.6		0.05839	423.6	1.7926	0.9213	1.1560	155.3	30
35	0.06138	428.4	1.8102	0.9209	1.1490	157.4		0.05968	428.2	1.8077	0.9232	1.1504	157.1	35
40	0.06267	433.0	1.8251	0.9238	1.1441	159.1		0.06094	432.8	1.8225	0.9258	1.1454	158.9	40
45	0.06395	437.7	1.8397	0.9272	1.1398	160.8		0.06219	437.5	1.8372	0.9290	1.1409	160.6	45
50	0.06521	442.3	1.8542	0.9311	1.1358	162.5		0.06342	442.1	1.8517	0.9328	1.1368	162.3	50
55	0.06645	447.0	1.8686	0.9354	1.1321	164.1		0.06465	446.8	1.8661	0.9369	1.1331	163.9	55
60	0.06769	451.7	1.8827	0.9401	1.1288	165.7		0.06586	451.5	1.8803	0.9415	1.1297	165.5	60
65	0.06892	456.4	1.8968	0.9451	1.1258	167.2		0.06706	456.2	1.8944	0.9464	1.1266	167.0	65
70	0.07014	461.1	1.9107	0.9503	1.1229	168.8		0.06825	461.0	1.9083	0.9515	1.1237	168.6	70
75	0.07135	465.9	1.9245	0.9558	1.1203	170.2		0.06942	465.7	1.9221	0.9569	1.1210	170.1	75
80	0.07254	470.7	1.9381	0.9615	1.1179	171.7		0.07061	470.5	1.9358	0.9625	1.1185	171.5	80
85	0.07374	475.5	1.9517	0.9673	1.1156	173.1		0.07177	475.4	1.9494	0.9683	1.1162	173.0	85
90	0.07492	480.3	1.9652	0.9733	1.1135	174.6		0.07293	480.2	1.9628	0.9742	1.1140	174.4	90
95	0.07611	485.2	1.9785	0.9794	1.1115	176.0		0.07407	485.1	1.9762	0.9802	1.1120	175.8	95
100	0.07729	490.1	1.9918	0.9856	1.1096	177.3		0.07523	490.0	1.9894	0.9864	1.1101	177.2	100
105	0.07846	495.1	2.0049	0.9919	1.1078	178.7		0.07637	495.0	2.0026	0.9926	1.1083	178.6	105
110	0.07962	500.1	2.0180	0.9982	1.1061	180.0		0.07750	500.0	2.0157	0.9989	1.1066	179.9	110
115	0.08078	505.1	2.0310	1.0046	1.1046	181.3		0.07865	505.0	2.0287	1.0053	1.1050	181.2	115
120	0.08193	510.1	2.0439	1.0111	1.1031	182.6		0.07978	510.0	2.0416	1.0117	1.1034	182.5	120
125	0.08308	515.2	2.0567	1.0175	1.1016	183.9		0.08089	515.1	2.0544	1.0181	1.1020	183.8	125
130	0.08423	520.3	2.0694	1.0241	1.1003	185.2		0.08202	520.2	2.0672	1.0246	1.1006	185.1	130
135	0.08538	525.4	2.0821	1.0306	1.0990	186.5		0.08314	525.3	2.0798	1.0311	1.0993	186.4	135
140	0.08653	530.6	2.0947	1.0371	1.0977	187.7		0.08425	530.5	2.0924	1.0376	1.0980	187.6	140
145	0.08767	535.8	2.1072	1.0437	1.0966	189.0		0.08536	535.7	2.1049	1.0441	1.0968	188.9	145
150	0.08881	541.0	2.1196	1.0502	1.0954	190.2		0.08648	540.9	2.1174	1.0506	1.0957	190.1	150
155	0.08994	546.3	2.1320	1.0567	1.0943	191.4		0.08757	546.2	2.1298	1.0571	1.0946	191.3	155
160	0.09107	551.6	2.1443	1.0632	1.0933	192.6		0.08868	551.5	2.1421	1.0636	1.0935	192.5	160

TABLE 2 (continued)
HFC-134a Superheated Vapor—Constant Pressure Tables

v = Volume in m³/kg H = Enthalpy in kJ/kg S = Entropy in kJ/(kg)(K) v_s = Velocity of Sound in m/sec
 p = Heat Capacity at Constant Pressure in kJ/(kg)(°C) C_p/C_v = Heat Capacity Ratio (Dimensionless)

TEMP °C	PRESSURE = 400.00 kPa (abs)						SAT LIQ SAT VAP	PRESSURE = 425.00 kPa (abs)						TEMP °C
	V	H	S	C _p	C _p /C _v	v _s		V	H	S	C _p	C _p /C _v	v _s	
8.91	0.00079	212.1	1.0433	1.3695	1.5329	584.1	0.00080	214.6	1.0520	1.3757	1.5355	575.8	10.72	
8.91	0.05122	403.9	1.7234	0.9290	1.1916	146.5	0.04827	404.9	1.7226	0.9378	1.1949	146.4	10.72	
10	0.05152	404.9	1.7269	0.9281	1.1893	147.0	—	—	—	—	—	—	10	
15	0.05288	409.6	1.7432	0.9249	1.1797	149.1	0.04939	408.9	1.7366	0.9341	1.1859	148.3	15	
20	0.05421	414.2	1.7590	0.9233	1.1714	151.2	0.05067	413.6	1.7526	0.9314	1.1768	150.4	20	
25	0.05552	418.8	1.7747	0.9230	1.1641	153.1	0.05192	418.3	1.7683	0.9302	1.1688	152.4	25	
30	0.05680	423.4	1.7900	0.9238	1.1576	155.0	0.05314	422.9	1.7838	0.9302	1.1618	154.3	30	
35	0.05806	428.0	1.8051	0.9254	1.1519	156.9	0.05434	427.6	1.7990	0.9312	1.1556	156.2	35	
40	0.05930	432.7	1.8201	0.9278	1.1467	158.6	0.05553	432.2	1.8140	0.9331	1.1501	158.0	40	
45	0.06052	437.3	1.8348	0.9309	1.1421	160.4	0.05669	436.9	1.8288	0.9356	1.1451	159.8	45	
50	0.06172	442.0	1.8493	0.9345	1.1379	162.0	0.05785	441.6	1.8434	0.9388	1.1407	161.5	50	
55	0.06293	446.7	1.8637	0.9385	1.1341	163.7	0.05899	446.3	1.8579	0.9424	1.1366	163.2	55	
60	0.06411	451.4	1.8779	0.9429	1.1306	165.3	0.06010	451.0	1.8722	0.9465	1.1329	164.8	60	
65	0.06529	456.1	1.8920	0.9477	1.1274	166.9	0.06123	455.7	1.8863	0.9510	1.1295	166.4	65	
70	0.06645	460.8	1.9059	0.9527	1.1244	168.4	0.06233	460.5	1.9003	0.9558	1.1264	167.9	70	
75	0.06761	465.6	1.9198	0.9580	1.1217	169.9	0.06343	465.3	1.9142	0.9608	1.1235	169.5	75	
80	0.06876	470.4	1.9335	0.9635	1.1192	171.4	0.06452	470.1	1.9279	0.9661	1.1208	171.0	80	
85	0.06989	475.3	1.9471	0.9692	1.1168	172.8	0.06559	475.0	1.9415	0.9716	1.1183	172.4	85	
90	0.07102	480.1	1.9605	0.9751	1.1146	174.3	0.06668	479.8	1.9550	0.9773	1.1160	173.9	90	
95	0.07215	485.0	1.9739	0.9810	1.1125	175.7	0.06774	484.7	1.9684	0.9831	1.1138	175.3	95	
100	0.07328	489.9	1.9872	0.9871	1.1106	177.1	0.06880	489.7	1.9817	0.9891	1.1118	176.7	100	
105	0.07440	494.9	2.0004	0.9933	1.1087	178.4	0.06986	494.6	1.9949	0.9951	1.1099	178.1	105	
110	0.07551	499.9	2.0134	0.9996	1.1070	179.8	0.07092	499.6	2.0081	1.0013	1.1081	179.5	110	
115	0.07661	504.9	2.0264	1.0059	1.1054	181.1	0.07196	504.6	2.0211	1.0075	1.1064	180.8	115	
120	0.07772	509.9	2.0394	1.0123	1.1038	182.4	0.07300	509.7	2.0340	1.0138	1.1048	182.1	120	
125	0.07881	515.0	2.0522	1.0187	1.1023	183.7	0.07404	514.8	2.0469	1.0201	1.1033	183.4	125	
130	0.07991	520.1	2.0649	1.0251	1.1009	185.0	0.07508	519.9	2.0596	1.0264	1.1018	184.7	130	
135	0.08101	525.2	2.0776	1.0316	1.0996	186.3	0.07611	525.0	2.0723	1.0328	1.1004	186.0	135	
140	0.08210	530.4	2.0902	1.0381	1.0983	187.5	0.07714	530.2	2.0849	1.0393	1.0991	187.3	140	
145	0.08318	535.6	2.1028	1.0445	1.0971	188.8	0.07817	535.4	2.0975	1.0457	1.0979	188.5	145	
150	0.08426	540.9	2.1152	1.0510	1.0960	190.0	0.07920	540.7	2.1099	1.0521	1.0967	189.8	150	
155	0.08535	546.1	2.1276	1.0575	1.0949	191.2	0.08021	546.0	2.1223	1.0585	1.0955	191.0	155	
160	0.08642	551.4	2.1399	1.0640	1.0938	192.4	0.08123	551.3	2.1347	1.0650	1.0944	192.2	160	
165	—	—	—	—	—	—	0.08224	556.6	2.1469	1.0714	1.0934	193.4	165	

TEMP °C	PRESSURE = 450.00 kPa (abs)						SAT LIQ SAT VAP	PRESSURE = 475.00 kPa (abs)						TEMP °C
	V	H	S	C _p	C _p /C _v	v _s		V	H	S	C _p	C _p /C _v	v _s	
12.45	0.00080	217.0	1.0603	1.3818	1.5382	567.8	0.00080	219.3	1.0683	1.3878	1.5409	560.1	14.11	
12.45	0.04564	405.9	1.7218	0.9465	1.1982	146.2	0.04327	406.8	1.7211	0.9549	1.2015	146.0	14.11	
15	0.04628	408.3	1.7302	0.9437	1.1925	147.4	0.04349	407.7	1.7241	0.9538	1.1994	146.4	15	
20	0.04751	413.0	1.7464	0.9399	1.1825	149.5	0.04468	412.4	1.7404	0.9487	1.1884	148.7	20	
25	0.04871	417.7	1.7623	0.9377	1.1738	151.6	0.04584	417.2	1.7565	0.9454	1.1790	150.8	25	
30	0.04989	422.4	1.7779	0.9369	1.1662	153.6	0.04697	421.9	1.7722	0.9438	1.1708	152.9	30	
35	0.05104	427.1	1.7932	0.9372	1.1595	155.5	0.04808	426.6	1.7876	0.9433	1.1635	154.8	35	
40	0.05217	431.8	1.8083	0.9384	1.1536	157.4	0.04917	431.3	1.8028	0.9439	1.1572	156.7	40	
45	0.05329	436.5	1.8232	0.9405	1.1482	159.2	0.05024	436.0	1.8177	0.9454	1.1515	158.6	45	
50	0.05439	441.2	1.8379	0.9432	1.1435	160.9	0.05130	440.8	1.8325	0.9477	1.1464	160.4	50	
55	0.05548	445.9	1.8524	0.9464	1.1391	162.6	0.05234	445.5	1.8471	0.9505	1.1418	162.1	55	
60	0.05655	450.6	1.8667	0.9502	1.1352	164.3	0.05336	450.3	1.8615	0.9539	1.1376	163.8	60	
65	0.05761	455.4	1.8809	0.9543	1.1316	165.9	0.05438	455.0	1.8757	0.9578	1.1338	165.4	65	
70	0.05867	460.2	1.8949	0.9589	1.1283	167.5	0.05539	459.8	1.8898	0.9620	1.1303	167.0	70	
75	0.05971	465.0	1.9088	0.9637	1.1253	169.0	0.05639	464.7	1.9038	0.9666	1.1271	168.6	75	
80	0.06075	469.8	1.9226	0.9688	1.1225	170.6	0.05737	469.5	1.9176	0.9714	1.1242	170.1	80	
85	0.06178	474.7	1.9363	0.9741	1.1199	172.1	0.05836	474.4	1.9313	0.9765	1.1214	171.7	85	
90	0.06279	479.6	1.9498	0.9796	1.1174	173.5	0.05934	479.3	1.9448	0.9819	1.1189	173.1	90	
95	0.06381	484.5	1.9632	0.9852	1.1152	175.0	0.06030	484.2	1.9583	0.9874	1.1165	174.6	95	
100	0.06482	489.4	1.9766	0.9910	1.1130	176.4	0.06126	489.2	1.9717	0.9930	1.1143	176.0	100	
105	0.06583	494.4	1.9898	0.9970	1.1111	177.8	0.06221	494.1	1.9849	0.9988	1.1122	177.5	105	
110	0.06683	499.4	2.0029	1.0030	1.1092	179.2	0.06317	499.1	1.9981	1.0047	1.1103	178.8	110	
115	0.06782	504.4	2.0160	1.0091	1.1074	180.5	0.06411	504.2	2.0111	1.0107	1.1085	180.2	115	
120	0.06882	509.5	2.0289	1.0153	1.1057	181.9	0.06506	509.3	2.0241	1.0168	1.1067	181.6	120	
125	0.06979	514.6	2.0418	1.0215	1.1042	183.2	0.06600	514.3	2.0370	1.0230	1.1051	182.9	125	
130	0.07078	519.7	2.0546	1.0278	1.1027	184.5	0.06694	519.5	2.0498	1.0291	1.1036	184.2	130	
135	0.07176	524.8	2.0673	1.0341	1.1013	185.8	0.06787	524.6	2.0625	1.0354	1.1021	185.5	135	
140	0.07274	530.0	2.0799	1.0405	1.0999	187.0	0.06880	529.8	2.0752	1.0417	1.1007	186.8	140	
145	0.07371	535.2	2.0925	1.0468	1.0986	188.3	0.06972	535.1	2.0877	1.0480	1.0994	188.1	145	
150	0.07468	540.5	2.1050	1.0532	1.0974	189.6	0.07065	540.3	2.1002	1.0543	1.0981	189.3	150	
155	0.07565	545.8	2.1174	1.0596	1.0962	190.8	0.07157	545.6	2.1127	1.0606	1.0969	190.6	155	
160	0.07662	551.1	2.1297	1.0659	1.0951	192.0	0.07249	550.9	2.1250	1.0669	1.0957	191.8	160	
165	0.07757	556.4	2.1420	1.0723	1.0940	193.2	0.07341	556.3	2.1373	1.0732	1.0946	193.0	165	

TABLE 2 (continued)
HFC-134a Superheated Vapor—Constant Pressure Tables

V = Volume in m³/kg **H** = Enthalpy in kJ/kg **S** = Entropy in kJ/(kg)(K) **v_s** = Velocity of Sound in m/sec
Cp = Heat Capacity at Constant Pressure in kJ/(kg)(°C) **Cp/Cv** = Heat Capacity Ratio (Dimensionless)

TEMP °C	PRESSURE = 500.00 kPa (abs)							PRESSURE = 525.00 kPa (abs)						TEMP °C
	V	H	S	Cp	Cp/Cv	v _s		V	H	S	Cp	Cp/Cv	v _s	
15.71	0.00081	221.5	1.0759	1.3937	1.5436	552.8	SAT LIQ	0.00081	223.6	1.0833	1.3995	1.5463	545.7	17.24
15.71	0.04114	407.7	1.7205	0.9633	1.2049	145.8	SAT VAP	0.03920	408.5	1.7199	0.9715	1.2083	145.6	17.24
20	0.04213	411.8	1.7347	0.9578	1.1947	147.8		0.03982	411.2	1.7291	0.9674	1.2013	146.9	20
25	0.04325	416.6	1.7508	0.9535	1.1844	150.0		0.04090	416.0	1.7454	0.9618	1.1901	149.2	25
30	0.04434	421.3	1.7667	0.9509	1.1755	152.1		0.04196	420.8	1.7613	0.9582	1.1804	151.4	30
35	0.04541	426.1	1.7822	0.9496	1.1677	154.1		0.04300	425.6	1.7770	0.9562	1.1721	153.4	35
40	0.04646	430.8	1.7975	0.9496	1.1609	156.1		0.04401	430.4	1.7924	0.9554	1.1647	155.4	40
45	0.04749	435.6	1.8125	0.9505	1.1548	158.0		0.04501	435.2	1.8075	0.9558	1.1582	157.3	45
50	0.04851	440.4	1.8274	0.9523	1.1493	159.8		0.04599	439.9	1.8224	0.9570	1.1524	159.2	50
55	0.04951	445.1	1.8420	0.9547	1.1444	161.5		0.04695	444.7	1.8371	0.9590	1.1472	161.0	55
60	0.05050	449.9	1.8565	0.9577	1.1400	163.3		0.04790	449.5	1.8517	0.9616	1.1425	162.7	60
65	0.05147	454.7	1.8708	0.9612	1.1360	164.9		0.04884	454.3	1.8660	0.9648	1.1383	164.5	65
70	0.05244	459.5	1.8849	0.9652	1.1323	166.6		0.04976	459.2	1.8802	0.9685	1.1344	166.1	70
75	0.05339	464.3	1.8989	0.9695	1.1290	168.2		0.05068	464.0	1.8942	0.9725	1.1309	167.7	75
80	0.05434	469.2	1.9128	0.9741	1.1259	169.7		0.05159	468.9	1.9081	0.9769	1.1276	169.3	80
85	0.05528	474.1	1.9265	0.9791	1.1230	171.3		0.05250	473.8	1.9219	0.9816	1.1246	170.9	85
90	0.05621	479.0	1.9401	0.9842	1.1204	172.8		0.05338	478.7	1.9355	0.9866	1.1219	172.4	90
95	0.05713	483.9	1.9536	0.9895	1.1179	174.2		0.05428	483.7	1.9491	0.9917	1.1193	173.9	95
100	0.05806	488.9	1.9670	0.9950	1.1156	175.7		0.05516	488.6	1.9625	0.9971	1.1169	175.4	100
105	0.05898	493.9	1.9803	1.0007	1.1134	177.1		0.05603	493.6	1.9758	1.0026	1.1147	176.8	105
110	0.05989	498.9	1.9934	1.0065	1.1114	178.5		0.05691	498.7	1.9890	1.0083	1.1126	178.2	110
115	0.06078	503.9	2.0065	1.0124	1.1095	179.9		0.05777	503.7	2.0021	1.0140	1.1106	179.6	115
120	0.06169	509.0	2.0195	1.0183	1.1077	181.3		0.05864	508.8	2.0151	1.0199	1.1087	181.0	120
125	0.06258	514.1	2.0324	1.0244	1.1060	182.6		0.05950	513.9	2.0281	1.0259	1.1070	182.4	125
130	0.06348	519.3	2.0452	1.0305	1.1044	184.0		0.06035	519.1	2.0409	1.0319	1.1053	183.7	130
135	0.06437	524.4	2.0580	1.0367	1.1029	185.3		0.06120	524.2	2.0536	1.0380	1.1038	185.0	135
140	0.06526	529.6	2.0707	1.0429	1.1015	186.6		0.06205	529.4	2.0663	1.0441	1.1023	186.3	140
145	0.06613	534.9	2.0832	1.0491	1.1001	187.8		0.06289	534.7	2.0789	1.0503	1.1009	187.6	145
150	0.06702	540.1	2.0957	1.0554	1.0988	189.1		0.06373	539.9	2.0914	1.0565	1.0995	188.9	150
155	0.06790	545.4	2.1082	1.0616	1.0975	190.4		0.06457	545.2	2.1039	1.0627	1.0982	190.2	155
160	0.06877	550.7	2.1205	1.0679	1.0964	191.6		0.06541	550.6	2.1163	1.0689	1.0970	191.4	160
165	0.06964	556.1	2.1328	1.0742	1.0952	192.8		0.06624	555.9	2.1286	1.0751	1.0958	192.6	165
170	0.07052	561.5	2.1450	1.0804	1.0941	194.0		0.06707	561.3	2.1408	1.0813	1.0947	193.9	170

TEMP °C	PRESSURE = 550.00 kPa (abs)							PRESSURE = 575.00 kPa (abs)						TEMP °C
	V	H	S	Cp	Cp/Cv	v _s		V	H	S	Cp	Cp/Cv	v _s	
18.72	0.00081	225.7	1.0904	1.4052	1.5490	538.8	SAT LIQ	0.00082	227.7	1.0972	1.4109	1.5518	532.2	20.15
18.72	0.03743	409.3	1.7193	0.9795	1.2117	145.4	SAT VAP	0.03581	410.1	1.7188	0.9875	1.2152	145.2	20.15
20	0.03771	410.6	1.7236	0.9774	1.2083	146.0		—	—	—	—	—	—	20
25	0.03877	415.4	1.7401	0.9705	1.1961	148.4		0.03681	414.8	1.7349	0.9796	1.2023	147.5	25
30	0.03980	420.3	1.7562	0.9658	1.1856	150.6		0.03781	419.7	1.7512	0.9737	1.1910	149.8	30
35	0.04080	425.1	1.7720	0.9629	1.1766	152.7		0.03879	424.6	1.7671	0.9699	1.1813	152.0	35
40	0.04178	429.9	1.7874	0.9614	1.1687	154.8		0.03974	429.4	1.7827	0.9676	1.1728	154.1	40
45	0.04274	434.7	1.8027	0.9611	1.1617	156.7		0.04068	434.3	1.7980	0.9666	1.1654	156.1	45
50	0.04369	439.5	1.8177	0.9618	1.1556	158.6		0.04159	439.1	1.8131	0.9668	1.1588	158.0	50
55	0.04462	444.3	1.8324	0.9633	1.1501	160.5		0.04249	443.9	1.8279	0.9678	1.1530	159.9	55
60	0.04554	449.2	1.8470	0.9656	1.1451	162.2		0.04338	448.8	1.8426	0.9696	1.1477	161.7	60
65	0.04644	454.0	1.8614	0.9684	1.1406	164.0		0.04425	453.6	1.8570	0.9721	1.1430	163.5	65
70	0.04733	458.8	1.8757	0.9718	1.1366	165.6		0.04511	458.5	1.8713	0.9751	1.1387	165.2	70
75	0.04822	463.7	1.8898	0.9755	1.1328	167.3		0.04597	463.4	1.8854	0.9786	1.1348	166.9	75
80	0.04909	468.6	1.9037	0.9797	1.1294	168.9		0.04681	468.3	1.8994	0.9825	1.1313	168.5	80
85	0.04996	473.5	1.9175	0.9842	1.1263	170.5		0.04765	473.2	1.9133	0.9868	1.1280	170.1	85
90	0.05082	478.4	1.9312	0.9889	1.1234	172.0		0.04847	478.1	1.9270	0.9914	1.1250	171.6	90
95	0.05167	483.4	1.9447	0.9939	1.1207	173.5		0.04930	483.1	1.9406	0.9962	1.1222	173.2	95
100	0.05252	488.4	1.9582	0.9991	1.1182	175.0		0.05011	488.1	1.9540	1.0012	1.1196	174.7	100
105	0.05336	493.4	1.9715	1.0045	1.1159	176.5		0.05092	493.1	1.9674	1.0065	1.1171	176.1	105
110	0.05419	498.4	1.9847	1.0100	1.1137	177.9		0.05172	498.2	1.9806	1.0119	1.1149	177.6	110
115	0.05503	503.5	1.9979	1.0157	1.1117	179.3		0.05253	503.2	1.9938	1.0174	1.1128	179.0	115
120	0.05585	508.6	2.0109	1.0215	1.1097	180.7		0.05332	508.3	2.0069	1.0231	1.1108	180.4	120
125	0.05668	513.7	2.0239	1.0273	1.1079	182.1		0.05412	513.5	2.0198	1.0288	1.1089	181.8	125
130	0.05749	518.8	2.0367	1.0333	1.1062	183.4		0.05490	518.6	2.0327	1.0347	1.1071	183.2	130
135	0.05832	524.0	2.0495	1.0393	1.1046	184.8		0.05568	523.8	2.0455	1.0406	1.1055	184.5	135
140	0.05913	529.2	2.0622	1.0453	1.1031	186.1		0.05647	529.0	2.0582	1.0466	1.1039	185.8	140
145	0.05994	534.5	2.0748	1.0514	1.1016	187.4		0.05724	534.3	2.0708	1.0526	1.1024	187.2	145
150	0.06074	539.8	2.0873	1.0576	1.1002	188.7		0.05801	539.6	2.0834	1.0587	1.1010	188.4	150
155	0.06155	545.1	2.0998	1.0637	1.0989	189.9		0.05879	544.9	2.0958	1.0648	1.0996	189.7	155
160	0.06235	550.4	2.1122	1.0699	1.0977	191.2		0.05956	550.2	2.1082	1.0709	1.0983	191.0	160
165	0.06315	555.8	2.1245	1.0761	1.0965	192.4		0.06032	555.6	2.1206	1.0770	1.0971	192.2	165
170	0.06395	561.2	2.1367	1.0822	1.0953	193.7		0.06109	561.0	2.1328	1.0831	1.0959	193.5	170
175	—	—	—	—	—	—		0.06185	566.4	2.1450	1.0893	1.0948	194.7	175

TABLE 2 (continued)
HFC-134a Superheated Vapor—Constant Pressure Tables

v = Volume in m³/kg H = Enthalpy in kJ/kg S = Entropy in kJ/(kg)(K) v_s = Velocity of Sound in m/sec
 c_p = Heat Capacity at Constant Pressure in kJ/(kg)(°C) Cp/Cv = Heat Capacity Ratio (Dimensionless)

TEMP °C	PRESSURE = 600.00 kPa (abs)							PRESSURE = 625.00 kPa (abs)						TEMP °C
	v	H	S	Cp	Cp/Cv	v_s		v	H	S	Cp	Cp/Cv	v_s	
21.54	0.00082	229.7	1.1038	1.4165	1.5545	525.8	SAT LIQ	0.00082	231.6	1.1102	1.4221	1.5573	519.5	22.88
21.54	0.03432	410.8	1.7183	0.9954	1.2187	145.0	SAT VAP	0.03295	411.5	1.7179	1.0033	1.2223	144.7	22.88
25	0.03502	414.2	1.7299	0.9890	1.2090	146.7		0.03336	413.6	1.7250	0.9988	1.2159	145.8	25
30	0.03600	419.2	1.7463	0.9819	1.1967	149.0		0.03432	418.6	1.7415	0.9904	1.2026	148.2	30
35	0.03695	424.1	1.7623	0.9771	1.1862	151.3		0.03525	423.5	1.7577	0.9845	1.1913	150.5	35
40	0.03787	428.9	1.7780	0.9740	1.1771	153.4		0.03615	428.4	1.7735	0.9805	1.1816	152.7	40
45	0.03878	433.8	1.7934	0.9723	1.1692	155.5		0.03703	433.3	1.7890	0.9781	1.1731	154.8	45
50	0.03967	438.7	1.8086	0.9718	1.1622	157.4		0.03790	438.2	1.8042	0.9771	1.1657	156.8	50
55	0.04054	443.5	1.8235	0.9724	1.1560	159.3		0.03874	443.1	1.8192	0.9771	1.1591	158.8	55
60	0.04140	448.4	1.8382	0.9738	1.1505	161.2		0.03957	448.0	1.8340	0.9780	1.1532	160.6	60
65	0.04224	453.3	1.8527	0.9759	1.1455	163.0		0.04040	452.9	1.8486	0.9797	1.1480	162.5	65
70	0.04308	458.1	1.8671	0.9786	1.1410	164.7		0.04121	457.8	1.8630	0.9820	1.1432	164.2	70
75	0.04390	463.0	1.8813	0.9818	1.1369	166.4		0.04200	462.7	1.8772	0.9850	1.1389	166.0	75
80	0.04472	468.0	1.8953	0.9854	1.1331	168.1		0.04279	467.7	1.8913	0.9884	1.1350	167.6	80
85	0.04552	472.9	1.9092	0.9895	1.1297	169.7		0.04357	472.6	1.9052	0.9922	1.1314	169.3	85
90	0.04633	477.9	1.9229	0.9938	1.1265	171.3		0.04434	477.6	1.9190	0.9963	1.1282	170.9	90
95	0.04712	482.8	1.9365	0.9985	1.1236	172.8		0.04511	482.6	1.9327	1.0008	1.1251	172.4	95
100	0.04790	487.8	1.9500	1.0033	1.1209	174.3		0.04587	487.6	1.9462	1.0055	1.1223	174.0	100
105	0.04868	492.9	1.9634	1.0084	1.1184	175.8		0.04663	492.6	1.9596	1.0104	1.1197	175.5	105
110	0.04945	497.9	1.9767	1.0137	1.1161	177.3		0.04738	497.7	1.9729	1.0155	1.1173	177.0	110
115	0.05023	503.0	1.9899	1.0191	1.1139	178.7		0.04812	502.8	1.9861	1.0208	1.1150	178.4	115
120	0.05100	508.1	2.0030	1.0247	1.1118	180.1		0.04886	507.9	1.9992	1.0263	1.1129	179.8	120
125	0.05175	513.3	2.0159	1.0303	1.1099	181.5		0.04959	513.0	2.0122	1.0318	1.1109	181.3	125
130	0.05252	518.4	2.0288	1.0361	1.1081	182.9		0.05033	518.2	2.0251	1.0375	1.1090	182.6	130
135	0.05327	523.6	2.0417	1.0419	1.1063	184.3		0.05105	523.4	2.0380	1.0433	1.1072	184.0	135
140	0.05402	528.8	2.0544	1.0478	1.1047	185.6		0.05177	528.6	2.0507	1.0491	1.1055	185.4	140
145	0.05477	534.1	2.0670	1.0538	1.1032	186.9		0.05250	533.9	2.0633	1.0550	1.1040	186.7	145
150	0.05552	539.4	2.0796	1.0598	1.1017	188.2		0.05321	539.2	2.0759	1.0609	1.1024	188.0	150
155	0.05626	544.7	2.0921	1.0658	1.1003	189.5		0.05393	544.5	2.0884	1.0669	1.1010	189.3	155
160	0.05700	550.0	2.1045	1.0719	1.0990	190.8		0.05465	549.9	2.1008	1.0729	1.0997	190.6	160
165	0.05774	555.4	2.1168	1.0780	1.0977	192.0		0.05536	555.2	2.1132	1.0789	1.0984	191.8	165
170	0.05848	560.8	2.1291	1.0840	1.0965	193.3		0.05607	560.7	2.1255	1.0850	1.0971	193.1	170
175	0.05921	566.3	2.1413	1.0901	1.0954	194.5		0.05678	566.1	2.1377	1.0910	1.0959	194.3	175

TEMP °C	PRESSURE = 650.00 kPa (abs)							PRESSURE = 675.00 kPa (abs)						TEMP °C
	v	H	S	Cp	Cp/Cv	v_s		v	H	S	Cp	Cp/Cv	v_s	
24.18	0.00083	233.5	1.1163	1.4276	1.5601	513.5	SAT LIQ	0.00083	235.3	1.1224	1.4331	1.5630	507.6	25.45
24.18	0.03167	412.2	1.7174	1.0111	1.2259	144.5	SAT VAP	0.03049	412.8	1.7170	1.0188	1.2295	144.2	25.45
25	0.03183	413.0	1.7202	1.0091	1.2233	144.9		—	—	—	—	—	—	25
30	0.03277	418.0	1.7369	0.9993	1.2089	147.4		0.03133	417.4	1.7323	1.0086	1.2154	146.6	30
35	0.03367	423.0	1.7532	0.9922	1.1967	149.8		0.03222	422.5	1.7487	1.0002	1.2022	149.0	35
40	0.03456	428.0	1.7691	0.9873	1.1862	152.0		0.03308	427.4	1.7648	0.9943	1.1910	151.3	40
45	0.03542	432.9	1.7847	0.9841	1.1772	154.2		0.03392	432.4	1.7805	0.9903	1.1814	153.5	45
50	0.03626	437.8	1.8000	0.9824	1.1693	156.2		0.03474	437.4	1.7959	0.9879	1.1730	155.6	50
55	0.03708	442.7	1.8151	0.9819	1.1623	158.2		0.03555	442.3	1.8111	0.9868	1.1656	157.6	55
60	0.03789	447.6	1.8300	0.9823	1.1561	160.1		0.03633	447.2	1.8260	0.9867	1.1590	159.6	60
65	0.03869	452.5	1.8446	0.9836	1.1505	162.0		0.03711	452.2	1.8407	0.9876	1.1532	161.5	65
70	0.03948	457.5	1.8591	0.9856	1.1456	163.8		0.03787	457.1	1.8552	0.9892	1.1479	163.3	70
75	0.04025	462.4	1.8733	0.9882	1.1411	165.5		0.03862	462.1	1.8695	0.9915	1.1432	165.1	75
80	0.04102	467.3	1.8874	0.9913	1.1370	167.2		0.03937	467.0	1.8837	0.9944	1.1389	166.8	80
85	0.04177	472.3	1.9014	0.9949	1.1332	168.9		0.04010	472.0	1.8977	0.9977	1.1350	168.5	85
90	0.04252	477.3	1.9152	0.9988	1.1298	170.5		0.04083	477.0	1.9116	1.0014	1.1314	170.1	90
95	0.04326	482.3	1.9289	1.0031	1.1266	172.1		0.04155	482.0	1.9253	1.0054	1.1282	171.7	95
100	0.04399	487.3	1.9425	1.0076	1.1237	173.6		0.04226	487.0	1.9389	1.0098	1.1251	173.3	100
105	0.04472	492.4	1.9559	1.0124	1.1210	175.1		0.04296	492.1	1.9523	1.0144	1.1223	174.8	105
110	0.04545	497.4	1.9693	1.0174	1.1185	176.6		0.04367	497.2	1.9657	1.0193	1.1197	176.3	110
115	0.04617	502.5	1.9825	1.0226	1.1161	178.1		0.04437	502.3	1.9789	1.0243	1.1173	177.8	115
120	0.04688	507.7	1.9956	1.0279	1.1139	179.6		0.04505	507.4	1.9921	1.0296	1.1150	179.3	120
125	0.04760	512.8	2.0086	1.0334	1.1119	181.0		0.04574	512.6	2.0051	1.0349	1.1129	180.7	125
130	0.04830	518.0	2.0215	1.0389	1.1099	182.4		0.04642	517.8	2.0181	1.0404	1.1109	182.1	130
135	0.04900	523.2	2.0344	1.0446	1.1081	183.8		0.04711	523.0	2.0309	1.0460	1.1090	183.5	135
140	0.04970	528.4	2.0471	1.0504	1.1064	185.1		0.04778	528.2	2.0437	1.0516	1.1072	184.9	140
145	0.05040	533.7	2.0598	1.0562	1.1047	186.5		0.04845	533.5	2.0564	1.0574	1.1055	186.2	145
150	0.05109	539.0	2.0724	1.0620	1.1032	187.8		0.04913	538.8	2.0690	1.0632	1.1039	187.6	150
155	0.05178	544.3	2.0849	1.0680	1.1017	189.1		0.04979	544.2	2.0815	1.0690	1.1024	188.9	155
160	0.05247	549.7	2.0973	1.0739	1.1003	190.4		0.05046	549.5	2.0940	1.0749	1.1010	190.2	160
165	0.05316	555.1	2.1097	1.0799	1.0990	191.6		0.05112	554.9	2.1063	1.0809	1.0996	191.5	165
170	0.05384	560.5	2.1220	1.0859	1.0977	192.9		0.05178	560.3	2.1186	1.0868	1.0983	192.7	170
175	0.05453	565.9	2.1342	1.0919	1.0965	194.2		0.05244	565.8	2.1309	1.0928	1.0971	194.0	175
180	0.05520	571.4	2.1464	1.0979	1.0954	195.4		0.05310	571.2	2.1430	1.0987	1.0959	195.2	180

TABLE 2 (continued)
HFC-134a Superheated Vapor—Constant Pressure Tables

V = Volume in m³/kg H = Enthalpy in kJ/kg S = Entropy in kJ/(kg)(K) v_s = Velocity of Sound in m/sec
 Cp = Heat Capacity at Constant Pressure in kJ/(kg)(°C) Cp/Cv = Heat Capacity Ratio (Dimensionless)

TEMP °C	PRESSURE = 700.00 kPa (abs)							PRESSURE = 725.00 kPa (abs)						TEMP °C
	V	H	S	Cp	Cp/Cv	v _s		V	H	S	Cp	Cp/Cv	v _s	
26.68	0.00083	237.0	1.1282	1.4385	1.5658	501.8	SAT LIQ	0.00084	238.8	1.1339	1.4440	1.5687	496.2	27.88
26.68	0.02939	413.5	1.7166	1.0265	1.2332	144.0	SAT VAP	0.02836	414.1	1.7162	1.0341	1.2370	143.7	27.88
30	0.02999	416.8	1.7278	1.0182	1.2223	145.7		0.02874	416.2	1.7234	1.0283	1.2295	144.9	30
35	0.03086	421.9	1.7444	1.0085	1.2081	148.2		0.02960	421.4	1.7401	1.0172	1.2142	147.4	35
40	0.03171	426.9	1.7606	1.0015	1.1960	150.6		0.03043	426.4	1.7564	1.0090	1.2013	149.9	40
45	0.03253	431.9	1.7764	0.9967	1.1857	152.8		0.03123	431.5	1.7724	1.0033	1.1903	152.2	45
50	0.03333	436.9	1.7919	0.9935	1.1768	155.0		0.03202	436.5	1.7880	0.9994	1.1807	154.4	50
55	0.03412	441.9	1.8071	0.9918	1.1689	157.0		0.03278	441.4	1.8033	0.9970	1.1724	156.5	55
60	0.03488	446.8	1.8221	0.9913	1.1620	159.0		0.03353	446.4	1.8184	0.9959	1.1651	158.5	60
65	0.03564	451.8	1.8369	0.9917	1.1559	160.9		0.03427	451.4	1.8332	0.9959	1.1587	160.4	65
70	0.03638	456.7	1.8515	0.9929	1.1504	162.8		0.03500	456.4	1.8478	0.9967	1.1529	162.3	70
75	0.03711	461.7	1.8658	0.9949	1.1454	164.6		0.03571	461.4	1.8623	0.9983	1.1477	164.1	75
80	0.03784	466.7	1.8801	0.9974	1.1409	166.3		0.03641	466.4	1.8765	1.0006	1.1430	165.9	80
85	0.03855	471.7	1.8941	1.0005	1.1369	168.0		0.03711	471.4	1.8906	1.0033	1.1387	167.6	85
90	0.03925	476.7	1.9080	1.0040	1.1331	169.7		0.03779	476.4	1.9045	1.0066	1.1349	169.3	90
95	0.03995	481.7	1.9217	1.0078	1.1297	171.3		0.03847	481.5	1.9183	1.0103	1.1313	171.0	95
100	0.04064	486.8	1.9354	1.0120	1.1266	172.9		0.03914	486.5	1.9320	1.0143	1.1280	172.6	100
105	0.04133	491.9	1.9489	1.0165	1.1236	174.5		0.03981	491.6	1.9455	1.0186	1.1250	174.1	105
110	0.04201	496.9	1.9622	1.0212	1.1209	176.0		0.04047	496.7	1.9589	1.0231	1.1222	175.7	110
115	0.04269	502.1	1.9755	1.0261	1.1184	177.5		0.04112	501.8	1.9722	1.0279	1.1196	177.2	115
120	0.04336	507.2	1.9887	1.0312	1.1161	179.0		0.04177	507.0	1.9854	1.0329	1.1172	178.7	120
125	0.04402	512.4	2.0018	1.0365	1.1139	180.4		0.04243	512.2	1.9985	1.0380	1.1149	180.1	125
130	0.04468	517.6	2.0147	1.0419	1.1118	181.8		0.04307	517.4	2.0115	1.0433	1.1128	181.6	130
135	0.04535	522.8	2.0276	1.0473	1.1099	183.2		0.04371	522.6	2.0244	1.0487	1.1108	183.0	135
140	0.04600	528.0	2.0404	1.0529	1.1081	184.6		0.04434	527.8	2.0372	1.0542	1.1089	184.4	140
145	0.04665	533.3	2.0531	1.0586	1.1063	186.0		0.04497	533.1	2.0499	1.0598	1.1071	185.8	145
150	0.04730	538.6	2.0657	1.0643	1.1047	187.3		0.04560	538.4	2.0625	1.0655	1.1055	187.1	150
155	0.04795	544.0	2.0782	1.0701	1.1032	188.7		0.04622	543.8	2.0751	1.0712	1.1039	188.4	155
160	0.04859	549.3	2.0907	1.0760	1.1017	190.0		0.04685	549.2	2.0875	1.0770	1.1024	189.8	160
165	0.04923	554.7	2.1031	1.0818	1.1003	191.3		0.04747	554.6	2.0999	1.0828	1.1009	191.1	165
170	0.04987	560.2	2.1154	1.0877	1.0990	192.5		0.04809	560.0	2.1122	1.0887	1.0996	192.3	170
175	0.05051	565.6	2.1276	1.0936	1.0977	193.8		0.04871	565.4	2.1245	1.0945	1.0983	193.6	175
180	0.05114	571.1	2.1398	1.0996	1.0965	195.0		0.04932	570.9	2.1367	1.1004	1.0970	194.9	180

TEMP °C	PRESSURE = 750.00 kPa (abs)							PRESSURE = 800.00 kPa (abs)						TEMP °C
	V	H	S	Cp	Cp/Cv	v _s		V	H	S	Cp	Cp/Cv	v _s	
29.04	0.00084	240.5	1.1394	1.4494	1.5716	490.8	SAT LIQ	0.00085	243.7	1.1500	1.4602	1.5775	480.2	31.29
29.04	0.02740	414.6	1.7158	1.0417	1.2408	143.5	SAT VAP	0.02565	415.7	1.7150	1.0569	1.2485	142.9	31.29
30	0.02757	415.6	1.7191	1.0388	1.2372	144.0		—	—	—	—	—	—	30
35	0.02841	420.8	1.7360	1.0262	1.2206	146.6		0.02626	419.6	1.7278	1.0453	1.2344	145.0	35
40	0.02923	425.9	1.7524	1.0168	1.2067	149.1		0.02705	424.8	1.7445	1.0332	1.2184	147.6	40
45	0.03002	431.0	1.7684	1.0100	1.1950	151.5		0.02782	430.0	1.7608	1.0243	1.2049	150.1	45
50	0.03079	436.0	1.7842	1.0053	1.1848	153.7		0.02856	435.1	1.7767	1.0178	1.1935	152.4	50
55	0.03154	441.0	1.7996	1.0023	1.1760	155.9		0.02928	440.2	1.7923	1.0133	1.1836	154.7	55
60	0.03227	446.0	1.8147	1.0006	1.1683	157.9		0.02998	445.2	1.8076	1.0105	1.1750	156.8	60
65	0.03299	451.0	1.8296	1.0001	1.1615	159.9		0.03067	450.3	1.8226	1.0089	1.1674	158.8	65
70	0.03370	456.0	1.8443	1.0005	1.1554	161.8		0.03135	455.3	1.8374	1.0085	1.1607	160.8	70
75	0.03439	461.0	1.8588	1.0018	1.1500	163.7		0.03202	460.4	1.8520	1.0090	1.1548	162.7	75
80	0.03508	466.1	1.8731	1.0037	1.1451	165.5		0.03267	465.4	1.8664	1.0103	1.1494	164.6	80
85	0.03576	471.1	1.8872	1.0063	1.1406	167.2		0.03331	470.5	1.8806	1.0122	1.1446	166.4	85
90	0.03643	476.1	1.9012	1.0093	1.1366	168.9		0.03395	475.5	1.8947	1.0147	1.1402	168.1	90
95	0.03708	481.2	1.9150	1.0127	1.1329	170.6		0.03457	480.6	1.9086	1.0177	1.1362	169.8	95
100	0.03774	486.2	1.9287	1.0165	1.1295	172.2		0.03520	485.7	1.9223	1.0212	1.1325	171.5	100
105	0.03839	491.3	1.9422	1.0207	1.1264	173.8		0.03581	490.8	1.9360	1.0250	1.1292	173.1	105
110	0.03903	496.4	1.9557	1.0251	1.1235	175.4		0.03642	495.9	1.9494	1.0291	1.1261	174.7	110
115	0.03966	501.6	1.9690	1.0297	1.1208	176.9		0.03703	501.1	1.9628	1.0334	1.1232	176.3	115
120	0.04030	506.7	1.9822	1.0346	1.1183	178.4		0.03763	506.3	1.9761	1.0380	1.1205	177.8	120
125	0.04093	511.9	1.9953	1.0396	1.1160	179.9		0.03822	511.5	1.9892	1.0428	1.1181	179.3	125
130	0.04155	517.1	2.0083	1.0448	1.1138	181.3		0.03881	516.7	2.0023	1.0478	1.1157	180.8	130
135	0.04217	522.4	2.0212	1.0501	1.1117	182.7		0.03940	522.0	2.0152	1.0529	1.1136	182.2	135
140	0.04279	527.6	2.0341	1.0555	1.1098	184.1		0.03998	527.2	2.0281	1.0582	1.1115	183.6	140
145	0.04340	532.9	2.0468	1.0611	1.1080	185.5		0.04056	532.5	2.0408	1.0636	1.1096	185.0	145
150	0.04401	538.3	2.0594	1.0667	1.1062	186.9		0.04114	537.9	2.0535	1.0690	1.1078	186.4	150
155	0.04462	543.6	2.0720	1.0723	1.1046	188.2		0.04171	543.2	2.0661	1.0745	1.1061	187.8	155
160	0.04523	549.0	2.0845	1.0780	1.1031	189.5		0.04229	548.6	2.0786	1.0801	1.1045	189.1	160
165	0.04583	554.4	2.0969	1.0838	1.1016	190.9		0.04285	554.0	2.0910	1.0858	1.1029	190.5	165
170	0.04643	559.8	2.1092	1.0896	1.1002	192.1		0.04342	559.5	2.1034	1.0915	1.1015	191.8	170
175	0.04703	565.3	2.1215	1.0954	1.0989	193.4		0.04398	565.0	2.1157	1.0972	1.1001	193.1	175
180	0.04762	570.8	2.1336	1.1013	1.0976	194.7		0.04455	570.5	2.1279	1.1030	1.0988	194.3	180
185	—	—	—	—	—	—		0.04511	576.0	2.1400	1.1087	1.0975	195.6	185

TABLE 2 (continued)
HFC-134a Superheated Vapor—Constant Pressure Tables

v = Volume in m^3/kg H = Enthalpy in kJ/kg S = Entropy in $kJ/(kg)(K)$ v_s = Velocity of Sound in m/sec
 ρ = Heat Capacity at Constant Pressure in $kJ/(kg)(^\circ C)$ Cp/Cv = Heat Capacity Ratio (Dimensionless)

TEMP °C	PRESSURE = 850.00 kPa (abs)						SAT LIQ SAT VAP	PRESSURE = 900.00 kPa (abs)						TEMP °C
	V	H	S	Cp	Cp/Cv	v_s		V	H	S	Cp	Cp/Cv	v_s	
33.44	0.00085	246.9	1.1602	1.4710	1.5836	470.1	0.00086	249.9	1.1699	1.4818	1.5897	460.4	35.49	
33.44	0.02410	416.8	1.7143	1.0720	1.2564	142.4	0.02271	417.7	1.7137	1.0872	1.2646	141.8	35.49	
35	0.02435	418.4	1.7198	1.0663	1.2498	143.3	—	—	—	—	—	—	35	
40	0.02512	423.7	1.7368	1.0510	1.2312	146.0	0.02340	422.6	1.7293	1.0702	1.2453	144.4	40	
45	0.02586	429.0	1.7534	1.0395	1.2157	148.6	0.02412	427.9	1.7462	1.0559	1.2275	147.2	45	
50	0.02658	434.1	1.7695	1.0311	1.2027	151.1	0.02482	433.2	1.7625	1.0452	1.2128	149.7	50	
55	0.02728	439.3	1.7853	1.0250	1.1916	153.4	0.02550	438.4	1.7785	1.0373	1.2003	152.2	55	
60	0.02796	444.4	1.8008	1.0208	1.1820	155.6	0.02616	443.5	1.7942	1.0316	1.1896	154.5	60	
65	0.02862	449.5	1.8159	1.0181	1.1737	157.8	0.02680	448.7	1.8095	1.0278	1.1803	156.7	65	
70	0.02927	454.6	1.8309	1.0167	1.1663	159.8	0.02743	453.8	1.8246	1.0253	1.1722	158.8	70	
75	0.02991	459.7	1.8456	1.0164	1.1598	161.8	0.02803	458.9	1.8394	1.0242	1.1650	160.8	75	
80	0.03053	464.7	1.8601	1.0170	1.1539	163.7	0.02864	464.1	1.8540	1.0240	1.1586	162.8	80	
85	0.03115	469.8	1.8744	1.0184	1.1487	165.5	0.02923	469.2	1.8684	1.0247	1.1529	164.7	85	
90	0.03176	474.9	1.8885	1.0204	1.1439	167.3	0.02981	474.3	1.8826	1.0261	1.1478	166.5	90	
95	0.03236	480.0	1.9025	1.0229	1.1396	169.1	0.03039	479.4	1.8967	1.0282	1.1431	168.3	95	
100	0.03295	485.1	1.9163	1.0259	1.1357	170.8	0.03096	484.6	1.9106	1.0308	1.1389	170.1	100	
105	0.03353	490.3	1.9300	1.0293	1.1321	172.4	0.03151	489.8	1.9243	1.0338	1.1351	171.7	105	
110	0.03412	495.4	1.9435	1.0331	1.1288	174.1	0.03207	494.9	1.9379	1.0373	1.1315	173.4	110	
115	0.03469	500.6	1.9569	1.0372	1.1257	175.6	0.03262	500.1	1.9514	1.0410	1.1282	175.0	115	
120	0.03526	505.8	1.9703	1.0415	1.1229	177.2	0.03316	505.3	1.9647	1.0451	1.1252	176.6	120	
125	0.03582	511.0	1.9834	1.0461	1.1202	178.7	0.03370	510.6	1.9779	1.0494	1.1224	178.2	125	
130	0.03639	516.3	1.9965	1.0509	1.1178	180.2	0.03423	515.8	1.9911	1.0540	1.1198	179.7	130	
135	0.03695	521.5	2.0095	1.0558	1.1155	181.7	0.03477	521.1	2.0041	1.0587	1.1174	181.2	135	
140	0.03750	526.8	2.0224	1.0609	1.1133	183.1	0.03530	526.4	2.0170	1.0636	1.1151	182.7	140	
145	0.03805	532.2	2.0352	1.0661	1.1113	184.6	0.03582	531.8	2.0298	1.0687	1.1130	184.1	145	
150	0.03860	537.5	2.0479	1.0714	1.1094	186.0	0.03634	537.1	2.0426	1.0738	1.1110	185.5	150	
155	0.03914	542.9	2.0605	1.0768	1.1076	187.4	0.03686	542.5	2.0552	1.0791	1.1091	186.9	155	
160	0.03969	548.3	2.0731	1.0823	1.1059	188.7	0.03737	547.9	2.0678	1.0844	1.1073	188.3	160	
165	0.04023	553.7	2.0855	1.0878	1.1043	190.1	0.03789	553.3	2.0803	1.0898	1.1056	189.7	165	
170	0.04076	559.1	2.0979	1.0934	1.1028	191.4	0.03840	558.8	2.0927	1.0953	1.1040	191.0	170	
175	0.04130	564.6	2.1102	1.0990	1.1013	192.7	0.03890	564.3	2.1050	1.1009	1.1025	192.3	175	
180	0.04183	570.1	2.1224	1.1047	1.0999	194.0	0.03941	569.8	2.1172	1.1064	1.1011	193.6	180	
185	0.04236	575.7	2.1346	1.1104	1.0986	195.3	0.03992	575.4	2.1294	1.1120	1.0997	194.9	185	
190	—	—	—	—	—	—	0.04042	580.9	2.1415	1.1177	1.0984	196.2	190	

TEMP °C	PRESSURE = 950.00 kPa (abs)						SAT LIQ SAT VAP	PRESSURE = 1000.00 kPa (abs)						TEMP °C
	V	H	S	Cp	Cp/Cv	v_s		V	H	S	Cp	Cp/Cv	v_s	
37.46	0.00086	252.8	1.1792	1.4926	1.5960	451.1	0.00087	255.6	1.1881	1.5035	1.6025	442.1	39.35	
37.46	0.02147	418.6	1.7130	1.1024	1.2730	141.2	0.02034	419.5	1.7124	1.1177	1.2817	140.6	39.35	
40	0.02184	421.4	1.7220	1.0913	1.2609	142.8	0.02044	420.2	1.7147	1.1144	1.2782	141.0	40	
45	0.02256	426.8	1.7391	1.0736	1.2404	145.7	0.02114	425.7	1.7322	1.0928	1.2546	144.1	45	
50	0.02324	432.2	1.7558	1.0604	1.2236	148.3	0.02181	431.2	1.7491	1.0766	1.2354	146.9	50	
55	0.02390	437.4	1.7720	1.0504	1.2095	150.9	0.02246	436.5	1.7655	1.0644	1.2195	149.6	55	
60	0.02454	442.7	1.7878	1.0431	1.1976	153.3	0.02308	441.8	1.7816	1.0552	1.2061	152.1	60	
65	0.02516	447.9	1.8033	1.0379	1.1873	155.6	0.02368	447.1	1.7972	1.0485	1.1947	154.4	65	
70	0.02577	453.1	1.8185	1.0344	1.1783	157.8	0.02427	452.3	1.8126	1.0438	1.1848	156.7	70	
75	0.02636	458.2	1.8334	1.0323	1.1705	159.9	0.02485	457.5	1.8277	1.0406	1.1762	158.9	75	
80	0.02694	463.4	1.8481	1.0313	1.1635	161.9	0.02541	462.7	1.8425	1.0388	1.1687	160.9	80	
85	0.02751	468.5	1.8626	1.0313	1.1573	163.8	0.02596	467.9	1.8571	1.0381	1.1619	162.9	85	
90	0.02807	473.7	1.8769	1.0321	1.1518	165.7	0.02650	473.1	1.8715	1.0383	1.1559	164.9	90	
95	0.02862	478.9	1.8911	1.0337	1.1468	167.5	0.02703	478.3	1.8857	1.0393	1.1506	166.8	95	
100	0.02917	484.0	1.9050	1.0358	1.1422	169.3	0.02756	483.5	1.8997	1.0409	1.1457	168.6	100	
105	0.02971	489.2	1.9188	1.0384	1.1381	171.1	0.02807	488.7	1.9136	1.0432	1.1413	170.4	105	
110	0.03023	494.4	1.9325	1.0415	1.1343	172.7	0.02859	493.9	1.9273	1.0459	1.1372	172.1	110	
115	0.03076	499.6	1.9460	1.0450	1.1309	174.4	0.02909	499.1	1.9409	1.0490	1.1335	173.8	115	
120	0.03128	504.9	1.9594	1.0488	1.1277	176.0	0.02959	504.4	1.9543	1.0525	1.1301	175.4	120	
125	0.03180	510.1	1.9727	1.0528	1.1247	177.6	0.03008	509.7	1.9676	1.0563	1.1270	177.0	125	
130	0.03231	515.4	1.9858	1.0572	1.1219	179.1	0.03058	515.0	1.9809	1.0604	1.1241	178.6	130	
135	0.03282	520.7	1.9989	1.0617	1.1194	180.7	0.03106	520.3	1.9940	1.0647	1.1214	180.1	135	
140	0.03333	526.0	2.0119	1.0664	1.1170	182.2	0.03155	525.6	2.0070	1.0692	1.1189	181.7	140	
145	0.03383	531.4	2.0247	1.0713	1.1147	183.6	0.03203	531.0	2.0198	1.0739	1.1165	183.1	145	
150	0.03432	536.7	2.0375	1.0763	1.1126	185.1	0.03250	536.3	2.0326	1.0787	1.1143	184.6	150	
155	0.03482	542.1	2.0502	1.0814	1.1107	186.5	0.03298	541.8	2.0453	1.0837	1.1122	186.0	155	
160	0.03531	547.5	2.0628	1.0866	1.1088	187.9	0.03345	547.2	2.0579	1.0888	1.1103	187.5	160	
165	0.03580	553.0	2.0753	1.0919	1.1070	189.3	0.03392	552.6	2.0705	1.0940	1.1084	188.9	165	
170	0.03629	558.5	2.0877	1.0973	1.1054	190.6	0.03438	558.1	2.0829	1.0993	1.1067	190.2	170	
175	0.03677	564.0	2.1000	1.1027	1.1038	192.0	0.03485	563.6	2.0953	1.1046	1.1050	191.6	175	
180	0.03725	569.5	2.1123	1.1082	1.1023	193.3	0.03531	569.2	2.1076	1.1100	1.1035	192.9	180	
185	0.03774	575.0	2.1245	1.1137	1.1009	194.6	0.03577	574.7	2.1198	1.1154	1.1020	194.2	185	
190	0.03821	580.6	2.1366	1.1193	1.0995	195.9	0.03623	580.3	2.1319	1.1209	1.1006	195.6	190	

TABLE 2 (continued)
HFC-134a Superheated Vapor—Constant Pressure Tables

V = Volume in m³/kg H = Enthalpy in kJ/kg S = Entropy in kJ/(kg)(K) v_s = Velocity of Sound in m/sec
 Cp = Heat Capacity at Constant Pressure in kJ/(kg)(°C) Cp/Cv = Heat Capacity Ratio (Dimensionless)

TEMP °C	PRESSURE = 1100.00 kPa (abs)						SAT LIQ SAT VAP	PRESSURE = 1200.00 kPa (abs)						TEMP °C
	V	H	S	Cp	Cp/Cv	v _s		V	H	S	Cp	Cp/Cv	v _s	
42.93	0.00088	261.0	1.2050	1.5256	1.6158	424.9	0.00089	266.2	1.2208	1.5481	1.6300	408.8	46.28	
42.93	0.01839	421.0	1.7112	1.1488	1.3000	139.4	0.01674	422.4	1.7100	1.1807	1.3195	138.1	46.28	
45	0.01867	423.4	1.7186	1.1368	1.2876	140.8								
50	0.01932	429.0	1.7362	1.1131	1.2623	143.9	0.01722	426.8	1.7235	1.1563	1.2951	140.7	50	
55	0.01995	434.5	1.7531	1.0952	1.2419	146.8	0.01783	432.5	1.7411	1.1310	1.2685	143.9	55	
60	0.02054	440.0	1.7696	1.0817	1.2251	149.5	0.01842	438.1	1.7580	1.1119	1.2471	146.9	60	
65	0.02112	445.4	1.7856	1.0716	1.2110	152.1	0.01897	443.6	1.7745	1.0974	1.2296	149.7	65	
70	0.02168	450.7	1.8013	1.0640	1.1990	154.5	0.01951	449.1	1.7905	1.0864	1.2149	152.3	70	
75	0.02223	456.0	1.8166	1.0586	1.1887	156.8	0.02003	454.5	1.8062	1.0782	1.2025	154.8	75	
80	0.02275	461.3	1.8317	1.0548	1.1797	159.1	0.02054	459.8	1.8215	1.0722	1.1918	157.1	80	
85	0.02327	466.6	1.8465	1.0525	1.1718	161.2	0.02103	465.2	1.8365	1.0679	1.1825	159.3	85	
90	0.02378	471.8	1.8611	1.0513	1.1648	163.2	0.02151	470.5	1.8513	1.0652	1.1743	161.5	90	
95	0.02428	477.1	1.8755	1.0511	1.1585	165.2	0.02199	475.8	1.8659	1.0636	1.1671	163.6	95	
100	0.02477	482.3	1.8897	1.0517	1.1529	167.1	0.02245	481.2	1.8802	1.0630	1.1607	165.6	100	
105	0.02525	487.6	1.9037	1.0530	1.1479	168.9	0.02290	486.5	1.8944	1.0633	1.1549	167.5	105	
110	0.02573	492.9	1.9175	1.0549	1.1433	170.7	0.02335	491.8	1.9083	1.0644	1.1497	169.4	110	
115	0.02620	498.1	1.9312	1.0573	1.1391	172.5	0.02379	497.1	1.9221	1.0660	1.1450	171.2	115	
120	0.02666	503.4	1.9447	1.0602	1.1353	174.2	0.02423	502.5	1.9358	1.0682	1.1407	173.0	120	
125	0.02713	508.7	1.9582	1.0634	1.1318	175.9	0.02466	507.8	1.9493	1.0708	1.1368	174.7	125	
130	0.02758	514.1	1.9715	1.0670	1.1285	177.5	0.02508	513.2	1.9627	1.0739	1.1331	176.4	130	
135	0.02803	519.4	1.9846	1.0709	1.1255	179.1	0.02550	518.5	1.9760	1.0773	1.1298	178.0	135	
140	0.02848	524.8	1.9977	1.0750	1.1227	180.6	0.02592	523.9	1.9891	1.0810	1.1267	179.6	140	
145	0.02892	530.2	2.0106	1.0793	1.1201	182.2	0.02633	529.4	2.0021	1.0849	1.1239	181.2	145	
150	0.02936	535.6	2.0235	1.0838	1.1177	183.7	0.02675	534.8	2.0150	1.0890	1.1212	182.8	150	
155	0.02980	541.0	2.0363	1.0885	1.1154	185.2	0.02715	540.2	2.0279	1.0934	1.1187	184.3	155	
160	0.03023	546.5	2.0489	1.0933	1.1133	186.6	0.02756	545.7	2.0406	1.0979	1.1164	185.8	160	
165	0.03067	551.9	2.0615	1.0982	1.1113	188.0	0.02796	551.2	2.0532	1.1026	1.1142	187.2	165	
170	0.03110	557.4	2.0740	1.1033	1.1094	189.5	0.02836	556.8	2.0657	1.1074	1.1122	188.7	170	
175	0.03152	563.0	2.0864	1.1084	1.1076	190.8	0.02875	562.3	2.0782	1.1123	1.1102	190.1	175	
180	0.03194	568.5	2.0987	1.1136	1.1059	192.2	0.02915	567.9	2.0906	1.1173	1.1084	191.5	180	
185	0.03237	574.1	2.1110	1.1188	1.1043	193.6	0.02954	573.5	2.1029	1.1223	1.1067	192.9	185	
190	0.03279	579.7	2.1231	1.1241	1.1028	194.9	0.02993	579.1	2.1151	1.1275	1.1050	194.2	190	
195	0.03321	585.3	2.1353	1.1295	1.1013	196.2	0.03032	584.7	2.1272	1.1326	1.1035	195.6	195	
200	—	—	—	—	—	—	0.03070	590.4	2.1393	1.1379	1.1020	196.9	200	

TEMP °C	PRESSURE = 1300.00 kPa (abs)						SAT LIQ SAT VAP	PRESSURE = 1400.00 kPa (abs)						TEMP °C
	V	H	S	Cp	Cp/Cv	v _s		V	H	S	Cp	Cp/Cv	v _s	
49.42	0.00091	271.0	1.2357	1.5714	1.6449	393.5	0.00092	275.7	1.2498	1.5954	1.6608	378.9	52.39	
49.42	0.01534	423.6	1.7088	1.2137	1.3405	136.9	0.01413	424.7	1.7076	1.2482	1.3631	135.5	52.39	
50	0.01542	424.3	1.7110	1.2088	1.3358	137.3	—	—	—	—	—	—	45	
55	0.01602	430.3	1.7292	1.1731	1.3005	140.9	0.01445	427.9	1.7174	1.2239	1.3399	137.6	55	
60	0.01660	436.1	1.7468	1.1466	1.2730	144.1	0.01502	434.0	1.7357	1.1872	1.3039	141.2	60	
65	0.01714	441.8	1.7637	1.1266	1.2510	147.1	0.01556	439.8	1.7531	1.1600	1.2760	144.5	65	
70	0.01767	447.3	1.7801	1.1114	1.2330	150.0	0.01607	445.6	1.7700	1.1395	1.2537	147.5	70	
75	0.01817	452.9	1.7961	1.0998	1.2179	152.6	0.01656	451.2	1.7864	1.1239	1.2354	150.4	75	
80	0.01865	458.4	1.8117	1.0911	1.2052	155.1	0.01703	456.8	1.8023	1.1119	1.2201	153.0	80	
85	0.01912	463.8	1.8270	1.0847	1.1942	157.5	0.01749	462.3	1.8179	1.1029	1.2071	155.6	85	
90	0.01959	469.2	1.8420	1.0801	1.1847	159.8	0.01793	467.8	1.8331	1.0962	1.1960	158.0	90	
95	0.02003	474.6	1.8568	1.0770	1.1763	161.9	0.01836	473.3	1.8481	1.0913	1.1863	160.2	95	
100	0.02047	480.0	1.8713	1.0751	1.1690	164.0	0.01878	478.8	1.8628	1.0880	1.1779	162.4	100	
105	0.02091	485.3	1.8856	1.0743	1.1624	166.0	0.01919	484.2	1.8772	1.0859	1.1704	164.6	105	
110	0.02133	490.7	1.8997	1.0743	1.1565	168.0	0.01960	489.6	1.8915	1.0849	1.1637	166.6	110	
115	0.02175	496.1	1.9136	1.0752	1.1512	169.9	0.01999	495.0	1.9055	1.0847	1.1577	168.6	115	
120	0.02216	501.5	1.9274	1.0766	1.1464	171.7	0.02038	500.5	1.9194	1.0854	1.1524	170.5	120	
125	0.02257	506.9	1.9410	1.0786	1.1420	173.5	0.02077	505.9	1.9332	1.0866	1.1475	172.3	125	
130	0.02297	512.3	1.9545	1.0810	1.1380	175.3	0.02115	511.3	1.9467	1.0885	1.1430	174.1	130	
135	0.02336	517.7	1.9678	1.0839	1.1343	177.0	0.02153	516.8	1.9602	1.0908	1.1390	175.9	135	
140	0.02375	523.1	1.9810	1.0871	1.1309	178.6	0.02189	522.2	1.9734	1.0935	1.1352	177.6	140	
145	0.02414	528.5	1.9941	1.0906	1.1278	180.2	0.02226	527.7	1.9866	1.0966	1.1318	179.3	145	
150	0.02453	534.0	2.0071	1.0944	1.1249	181.8	0.02263	533.2	1.9997	1.1000	1.1286	180.9	150	
155	0.02491	539.5	2.0200	1.0984	1.1221	183.4	0.02299	538.7	2.0126	1.1036	1.1257	182.5	155	
160	0.02529	545.0	2.0328	1.1027	1.1196	184.9	0.02334	544.2	2.0255	1.1075	1.1229	184.1	160	
165	0.02566	550.5	2.0455	1.1070	1.1172	186.4	0.02370	549.8	2.0382	1.1116	1.1203	185.6	165	
170	0.02604	556.1	2.0581	1.1116	1.1150	187.9	0.02405	555.4	2.0508	1.1159	1.1179	187.1	170	
175	0.02641	561.6	2.0706	1.1162	1.1129	189.4	0.02440	561.0	2.0634	1.1203	1.1157	188.6	175	
180	0.02677	567.2	2.0830	1.1210	1.1110	190.8	0.02475	566.6	2.0758	1.1249	1.1136	190.1	180	
185	0.02714	572.8	2.0953	1.1259	1.1091	192.2	0.02509	572.2	2.0882	1.1295	1.1116	191.5	185	
190	0.02751	578.5	2.1075	1.1308	1.1073	193.6	0.02543	577.9	2.1005	1.1343	1.1097	192.9	190	
195	0.02787	584.1	2.1197	1.1359	1.1057	194.9	0.02577	583.5	2.1127	1.1391	1.1079	194.3	195	
200	0.02823	589.8	2.1318	1.1409	1.1041	196.3	0.02611	589.3	2.1248	1.1440	1.1062	195.7	200	
205	—	—	—	—	—	—	0.02645	595.0	2.1369	1.1490	1.1046	197.0	205	

TABLE 2 (continued)
HFC-134a Superheated Vapor—Constant Pressure Tables

ρ = Volume in m³/kg H = Enthalpy in kJ/kg S = Entropy in kJ/(kg)(K) v_s = Velocity of Sound in m/sec
 p = Heat Capacity at Constant Pressure in kJ/(kg)(°C) Cp/Cv = Heat Capacity Ratio (Dimensionless)

TEMP °C	PRESSURE = 1500.00 kPa (abs)						SAT LIQ SAT VAP	PRESSURE = 1600.00 kPa (abs)						TEMP °C
	V	H	S	Cp	Cp/Cv	v_s		V	H	S	Cp	Cp/Cv	v_s	
55.2	0.00093	280.1	1.2632	1.6205	1.6778	365.0		0.00094	284.5	1.2759	1.6468	1.6959	351.6	57.88
55.2	0.01308	425.7	1.7063	1.2844	1.3876	134.2		0.01215	426.5	1.7050	1.3227	1.4142	132.8	57.88
60	0.01363	431.7	1.7246	1.2358	1.3416	138.0		0.01239	429.3	1.7134	1.2953	1.3888	134.7	60
65	0.01417	437.8	1.7427	1.1989	1.3056	141.7		0.01294	435.6	1.7323	1.2448	1.3412	138.7	65
70	0.01468	443.7	1.7601	1.1715	1.2776	145.0		0.01344	441.7	1.7503	1.2083	1.3056	142.3	70
75	0.01516	449.5	1.7769	1.1507	1.2552	148.0		0.01392	447.7	1.7675	1.1811	1.2779	145.6	75
80	0.01562	455.2	1.7932	1.1349	1.2368	150.9		0.01437	453.6	1.7842	1.1604	1.2556	148.7	80
85	0.01606	460.9	1.8090	1.1228	1.2214	153.6		0.01480	459.3	1.8004	1.1447	1.2373	151.5	85
90	0.01649	466.4	1.8245	1.1136	1.2084	156.1		0.01522	465.0	1.8162	1.1325	1.2220	154.2	90
95	0.01690	472.0	1.8397	1.1067	1.1972	158.5		0.01562	470.6	1.8316	1.1233	1.2090	156.8	95
100	0.01731	477.5	1.8546	1.1016	1.1875	160.8		0.01602	476.2	1.8467	1.1163	1.1978	159.2	100
105	0.01770	483.0	1.8692	1.0982	1.1790	163.0		0.01640	481.8	1.8616	1.1112	1.1881	161.5	105
110	0.01809	488.5	1.8837	1.0959	1.1714	165.2		0.01677	487.4	1.8761	1.1077	1.1796	163.7	110
115	0.01847	494.0	1.8978	1.0948	1.1647	167.2		0.01714	492.9	1.8905	1.1054	1.1721	165.9	115
120	0.01885	499.4	1.9119	1.0945	1.1587	169.2		0.01750	498.4	1.9046	1.1042	1.1653	167.9	120
125	0.01921	504.9	1.9257	1.0950	1.1532	171.1		0.01785	503.9	1.9186	1.1038	1.1593	169.9	125
130	0.01958	510.4	1.9394	1.0962	1.1483	173.0		0.01820	509.5	1.9323	1.1042	1.1539	171.8	130
135	0.01993	515.9	1.9529	1.0979	1.1438	174.8		0.01854	515.0	1.9460	1.1053	1.1489	173.7	135
140	0.02028	521.4	1.9663	1.1001	1.1397	176.6		0.01887	520.5	1.9594	1.1069	1.1444	175.5	140
145	0.02063	526.9	1.9795	1.1027	1.1360	178.3		0.01921	526.0	1.9728	1.1090	1.1403	177.3	145
150	0.02098	532.4	1.9926	1.1057	1.1325	180.0		0.01954	531.6	1.9860	1.1115	1.1365	179.0	150
155	0.02132	537.9	2.0056	1.1090	1.1293	181.6		0.01986	537.2	1.9990	1.1144	1.1330	180.7	155
160	0.02166	543.5	2.0185	1.1125	1.1263	183.2		0.02018	542.7	2.0120	1.1176	1.1298	182.4	160
165	0.02199	549.1	2.0313	1.1163	1.1235	184.8		0.02050	548.3	2.0248	1.1211	1.1268	184.0	165
170	0.02233	554.7	2.0440	1.1203	1.1209	186.3		0.02082	554.0	2.0376	1.1248	1.1240	185.5	170
175	0.02265	560.3	2.0566	1.1244	1.1185	187.9		0.02113	559.6	2.0502	1.1287	1.1214	187.1	175
180	0.02298	565.9	2.0691	1.1288	1.1162	189.3		0.02144	565.2	2.0627	1.1328	1.1190	188.6	180
185	0.02331	571.6	2.0815	1.1332	1.1141	190.8		0.02175	570.9	2.0752	1.1370	1.1167	190.1	185
190	0.02363	577.2	2.0939	1.1378	1.1121	192.3		0.02206	576.6	2.0876	1.1414	1.1145	191.6	190
195	0.02395	582.9	2.1061	1.1425	1.1102	193.7		0.02236	582.3	2.0998	1.1458	1.1125	193.1	195
200	0.02427	588.7	2.1183	1.1472	1.1084	195.1		0.02267	588.1	2.1121	1.1504	1.1106	194.5	200
205	0.02459	594.4	2.1303	1.1520	1.1067	196.5		0.02297	593.8	2.1242	1.1551	1.1088	195.9	205
210	0.02491	600.2	2.1424	1.1569	1.1050	197.8		0.02327	599.6	2.1362	1.1598	1.1070	197.3	210

TEMP °C	PRESSURE = 1700.00 kPa (abs)						SAT LIQ SAT VAP	PRESSURE = 1800.00 kPa (abs)						TEMP °C
	V	H	S	Cp	Cp/Cv	v_s		V	H	S	Cp	Cp/Cv	v_s	
60.43	0.00095	288.6	1.2882	1.6746	1.7155	338.6		0.00096	292.6	1.2999	1.7040	1.7366	326.1	62.87
60.43	0.01132	427.2	1.7037	1.3635	1.4432	131.4		0.01058	427.8	1.7022	1.4072	1.4749	130.0	62.87
65	0.01183	433.3	1.7217	1.3004	1.3851	135.5		0.01082	430.8	1.7110	1.3696	1.4408	132.1	65
70	0.01234	439.7	1.7405	1.2514	1.3390	139.5		0.01134	437.4	1.7306	1.3029	1.3794	136.5	70
75	0.01281	445.8	1.7583	1.2158	1.3042	143.1		0.01182	443.8	1.7491	1.2559	1.3352	140.5	75
80	0.01326	451.8	1.7754	1.1891	1.2770	146.4		0.01227	450.0	1.7667	1.2215	1.3016	144.0	80
85	0.01369	457.7	1.7920	1.1687	1.2551	149.5		0.01269	456.1	1.7837	1.1957	1.2752	147.3	85
90	0.01410	463.5	1.8081	1.1532	1.2371	152.3		0.01309	462.0	1.8001	1.1760	1.2538	150.3	90
95	0.01449	469.3	1.8238	1.1412	1.2219	155.0		0.01348	467.8	1.8161	1.1607	1.2361	153.2	95
100	0.01487	474.9	1.8391	1.1321	1.2091	157.5		0.01386	473.6	1.8317	1.1491	1.2213	155.8	100
105	0.01525	480.6	1.8541	1.1252	1.1980	159.9		0.01422	479.3	1.8469	1.1401	1.2087	158.4	105
110	0.01561	486.2	1.8689	1.1202	1.1884	162.3		0.01457	485.0	1.8618	1.1334	1.1978	160.8	110
115	0.01596	491.8	1.8834	1.1166	1.1799	164.5		0.01491	490.7	1.8765	1.1284	1.1882	163.1	115
120	0.01631	497.4	1.8976	1.1143	1.1724	166.6		0.01524	496.3	1.8909	1.1249	1.1798	165.3	120
125	0.01665	502.9	1.9117	1.1130	1.1657	168.7		0.01557	501.9	1.9051	1.1226	1.1724	167.4	125
130	0.01698	508.5	1.9256	1.1126	1.1597	170.7		0.01589	507.5	1.9191	1.1214	1.1657	169.5	130
135	0.01730	514.1	1.9393	1.1130	1.1542	172.6		0.01621	513.1	1.9329	1.1210	1.1598	171.5	135
140	0.01763	519.6	1.9529	1.1140	1.1493	174.5		0.01652	518.7	1.9466	1.1213	1.1544	173.4	140
145	0.01795	525.2	1.9663	1.1156	1.1448	176.3		0.01682	524.3	1.9601	1.1223	1.1495	175.3	145
150	0.01826	530.8	1.9796	1.1176	1.1407	178.1		0.01713	530.0	1.9734	1.1239	1.1450	177.1	150
155	0.01857	536.4	1.9927	1.1201	1.1369	179.8		0.01742	535.6	1.9866	1.1259	1.1409	178.9	155
160	0.01888	542.0	2.0057	1.1229	1.1334	181.5		0.01772	541.2	1.9997	1.1283	1.1371	180.6	160
165	0.01918	547.6	2.0186	1.1260	1.1302	183.1		0.01801	546.9	2.0127	1.1310	1.1336	182.3	165
170	0.01949	553.2	2.0314	1.1294	1.1272	184.8		0.01830	552.5	2.0256	1.1341	1.1304	184.0	170
175	0.01978	558.9	2.0441	1.1330	1.1244	186.4		0.01859	558.2	2.0383	1.1374	1.1274	185.6	175
180	0.02008	564.6	2.0567	1.1368	1.1218	187.9		0.01887	563.9	2.0509	1.1410	1.1246	187.2	180
185	0.02037	570.3	2.0692	1.1408	1.1193	189.4		0.01915	569.6	2.0635	1.1447	1.1220	188.7	185
190	0.02066	576.0	2.0816	1.1450	1.1170	190.9		0.01943	575.4	2.0759	1.1487	1.1196	190.3	190
195	0.02096	581.7	2.0939	1.1493	1.1149	192.4		0.01971	581.1	2.0883	1.1528	1.1173	191.8	195
200	0.02124	587.5	2.1062	1.1537	1.1128	193.9		0.01998	586.9	2.1005	1.1570	1.1151	193.3	200
205	0.02153	593.3	2.1183	1.1582	1.1109	195.3		0.02026	592.7	2.1127	1.1613	1.1130	194.7	205
210	0.02182	599.1	2.1304	1.1628	1.1091	196.7		0.02053	598.5	2.1248	1.1658	1.1111	196.2	210
215	0.02210	604.9	2.1424	1.1674	1.1073	198.1		0.02080	604.3	2.1369	1.1703	1.1093	197.6	215

TABLE 2 (continued)
HFC-134a Superheated Vapor—Constant Pressure Tables

V = Volume in m³/kg H = Enthalpy in kJ/kg S = Entropy in kJ/(kg)(K) v_s = Velocity of Sound in m/sec
Cp = Heat Capacity at Constant Pressure in kJ/(kg)(°C) Cp/Cv = Heat Capacity Ratio (Dimensionless)

TEMP °C	PRESSURE = 1900.00 kPa (abs)						SAT LIQ SAT VAP	PRESSURE = 2000.00 kPa (abs)						TEMP °C
	V	H	S	Cp	Cp/Cv	v _s		V	H	S	Cp	Cp/Cv	v _s	
65.22	0.00098	296.6	1.3113	1.7353	1.7594	314.0	SAT LIQ	0.00099	300.4	1.3223	1.7690	1.7844	302.2	67.47
65.22	0.00991	428.3	1.7007	1.4544	1.5098	128.6	SAT VAP	0.00931	428.8	1.6991	1.5055	1.5484	127.2	67.47
70	0.01043	435.1	1.7205	1.3658	1.4297	133.3		0.00959	432.5	1.7101	1.4452	1.4943	129.9	70
75	0.01092	441.7	1.7398	1.3032	1.3722	137.7		0.01009	439.5	1.7303	1.3600	1.4173	134.7	75
80	0.01137	448.1	1.7580	1.2587	1.3301	141.5		0.01055	446.1	1.7493	1.3019	1.3638	138.9	80
85	0.01179	454.3	1.7755	1.2259	1.2980	145.0		0.01097	452.5	1.7673	1.2601	1.3242	142.7	85
90	0.01219	460.4	1.7923	1.2011	1.2725	148.3		0.01137	458.8	1.7845	1.2291	1.2936	146.2	90
95	0.01257	466.4	1.8086	1.1821	1.2518	151.3		0.01175	464.8	1.8011	1.2055	1.2692	149.3	95
100	0.01294	472.2	1.8244	1.1674	1.2346	154.1		0.01211	470.8	1.8173	1.1874	1.2493	152.3	100
105	0.01329	478.0	1.8399	1.1561	1.2202	156.7		0.01246	476.7	1.8330	1.1733	1.2327	155.1	105
110	0.01364	483.8	1.8550	1.1475	1.2078	159.3		0.01279	482.6	1.8483	1.1625	1.2186	157.7	110
115	0.01397	489.5	1.8698	1.1409	1.1971	161.7		0.01312	488.4	1.8633	1.1542	1.2066	160.2	115
120	0.01429	495.2	1.8844	1.1361	1.1877	164.0		0.01344	494.1	1.8781	1.1479	1.1961	162.6	120
125	0.01461	500.9	1.8987	1.1327	1.1795	166.2		0.01374	499.8	1.8925	1.1433	1.1869	164.9	125
130	0.01492	506.5	1.9129	1.1305	1.1721	168.3		0.01405	505.5	1.9068	1.1401	1.1789	167.1	130
135	0.01523	512.2	1.9268	1.1293	1.1656	170.4		0.01434	511.2	1.9208	1.1380	1.1717	169.2	135
140	0.01553	517.8	1.9405	1.1290	1.1597	172.4		0.01463	516.9	1.9347	1.1369	1.1652	171.3	140
145	0.01582	523.5	1.9541	1.1293	1.1543	174.3		0.01492	522.6	1.9483	1.1366	1.1594	173.3	145
150	0.01611	529.1	1.9676	1.1303	1.1495	176.2		0.01520	528.3	1.9619	1.1370	1.1541	175.2	150
155	0.01640	534.8	1.9808	1.1319	1.1450	178.0		0.01547	534.0	1.9752	1.1380	1.1493	177.1	155
160	0.01668	540.5	1.9940	1.1338	1.1410	179.8		0.01575	539.7	1.9884	1.1395	1.1449	178.9	160
165	0.01696	546.1	2.0070	1.1362	1.1372	181.5		0.01602	545.4	2.0015	1.1415	1.1409	180.7	165
170	0.01724	551.8	2.0199	1.1389	1.1337	183.2		0.01629	551.1	2.0145	1.1439	1.1372	182.4	170
175	0.01752	557.5	2.0327	1.1419	1.1305	184.8		0.01655	556.8	2.0274	1.1466	1.1337	184.1	175
180	0.01779	563.2	2.0454	1.1452	1.1275	186.5		0.01681	562.6	2.0401	1.1496	1.1305	185.7	180
185	0.01806	569.0	2.0580	1.1487	1.1248	188.1		0.01707	568.3	2.0527	1.1528	1.1276	187.4	185
190	0.01832	574.7	2.0705	1.1524	1.1221	189.6		0.01733	574.1	2.0653	1.1563	1.1248	189.0	190
195	0.01859	580.5	2.0829	1.1563	1.1197	191.2		0.01758	579.9	2.0777	1.1599	1.1222	190.5	195
200	0.01885	586.3	2.0952	1.1604	1.1174	192.7		0.01784	585.7	2.0900	1.1638	1.1198	192.1	200
205	0.01911	592.1	2.1074	1.1645	1.1152	194.1		0.01809	591.5	2.1023	1.1678	1.1175	193.6	205
210	0.01937	597.9	2.1195	1.1688	1.1132	195.6		0.01834	597.4	2.1145	1.1719	1.1153	195.0	210
215	0.01963	603.8	2.1316	1.1732	1.1113	197.0		0.01858	603.2	2.1265	1.1761	1.1133	196.5	215
220	0.01989	609.7	2.1436	1.1776	1.1095	198.4		0.01883	609.1	2.1386	1.1804	1.1114	197.9	220

TEMP °C	PRESSURE = 2200.00 kPa (abs)						SAT LIQ SAT VAP	PRESSURE = 2400.00 kPa (abs)						TEMP °C
	V	H	S	Cp	Cp/Cv	v _s		V	H	S	Cp	Cp/Cv	v _s	
71.72	0.00102	307.8	1.3433	1.8446	1.8417	279.5	SAT LIQ	0.00104	314.9	1.3632	1.9351	1.9120	257.6	75.69
71.72	0.00825	429.3	1.6956	1.6230	1.6389	124.2	SAT VAP	0.00735	429.5	1.6917	1.7675	1.7530	121.2	75.69
75	0.00860	434.5	1.7105	1.5190	1.5466	128.1		—	—	—	—	—	—	75
80	0.00909	441.8	1.7313	1.4143	1.4531	133.3		0.00782	436.7	1.7122	1.5873	1.5944	126.8	80
85	0.00953	448.7	1.7507	1.3450	1.3903	137.7		0.00829	444.3	1.7336	1.4637	1.4851	132.3	85
90	0.00993	455.3	1.7690	1.2961	1.3449	141.7		0.00870	451.4	1.7533	1.3841	1.4137	136.9	90
95	0.01031	461.6	1.7865	1.2601	1.3103	145.3		0.00909	458.2	1.7718	1.3286	1.3630	141.0	95
100	0.01067	467.9	1.8033	1.2329	1.2831	148.6		0.00945	464.7	1.7894	1.2882	1.3250	144.8	100
105	0.01100	474.0	1.8195	1.2121	1.2612	151.7		0.00978	471.1	1.8064	1.2579	1.2954	148.2	105
110	0.01133	480.0	1.8354	1.1959	1.2429	154.6		0.01010	477.3	1.8227	1.2346	1.2715	151.3	110
115	0.01164	485.9	1.8508	1.1834	1.2276	157.3		0.01041	483.4	1.8386	1.2166	1.2519	154.3	115
120	0.01195	491.8	1.8658	1.1737	1.2145	159.9		0.01070	489.5	1.8541	1.2026	1.2355	157.1	120
125	0.01224	497.7	1.8806	1.1662	1.2032	162.4		0.01098	495.5	1.8692	1.1917	1.2215	159.7	125
130	0.01253	503.5	1.8951	1.1606	1.1934	164.7		0.01126	501.4	1.8841	1.1832	1.2095	162.3	130
135	0.01281	509.3	1.9094	1.1565	1.1847	167.0		0.01153	507.3	1.8986	1.1767	1.1990	164.7	135
140	0.01308	515.1	1.9235	1.1537	1.1770	169.1		0.01179	513.2	1.9129	1.1719	1.1898	167.0	140
145	0.01335	520.8	1.9374	1.1519	1.1701	171.2		0.01205	519.0	1.9270	1.1684	1.1817	169.2	145
150	0.01362	526.6	1.9510	1.1510	1.1639	173.3		0.01230	524.9	1.9408	1.1660	1.1744	171.3	150
155	0.01388	532.3	1.9646	1.1509	1.1583	175.2		0.01255	530.7	1.9545	1.1646	1.1679	173.4	155
160	0.01413	538.1	1.9779	1.1515	1.1532	177.1		0.01279	536.5	1.9680	1.1641	1.1620	175.4	160
165	0.01439	543.9	1.9912	1.1526	1.1485	179.0		0.01303	542.3	1.9814	1.1642	1.1567	177.3	165
170	0.01464	549.6	2.0042	1.1541	1.1443	180.8		0.01326	548.1	1.9946	1.1649	1.1518	179.2	170
175	0.01488	555.4	2.0172	1.1561	1.1404	182.6		0.01349	554.0	2.0077	1.1662	1.1473	181.1	175
180	0.01513	561.2	2.0300	1.1585	1.1367	184.3		0.01372	559.8	2.0206	1.1679	1.1432	182.9	180
185	0.01537	567.0	2.0428	1.1612	1.1334	186.0		0.01395	565.7	2.0335	1.1699	1.1394	184.6	185
190	0.01561	572.8	2.0554	1.1642	1.1302	187.6		0.01417	571.5	2.0462	1.1723	1.1359	186.3	190
195	0.01585	578.6	2.0679	1.1674	1.1273	189.3		0.01440	577.4	2.0588	1.1751	1.1327	188.0	195
200	0.01608	584.5	2.0803	1.1708	1.1246	190.8		0.01462	583.3	2.0713	1.1780	1.1296	189.6	200
205	0.01631	590.3	2.0927	1.1744	1.1221	192.4		0.01483	589.2	2.0837	1.1812	1.1268	191.2	205
210	0.01654	596.2	2.1049	1.1781	1.1197	193.9		0.01505	595.1	2.0960	1.1846	1.1241	192.8	210
215	0.01677	602.1	2.1170	1.1820	1.1174	195.4		0.01526	601.0	2.1082	1.1882	1.1216	194.4	215
220	0.01700	608.0	2.1291	1.1861	1.1153	196.9		0.01548	607.0	2.1203	1.1919	1.1193	195.9	220
225	0.01723	614.0	2.1411	1.1902	1.1133	198.4		0.01569	612.9	2.1324	1.1957	1.1171	197.4	225
230	—	—	—	—	—	—		0.01590	618.9	2.1443	1.1996	1.1150	198.9	230

TABLE 2 (continued)
HFC-134a Superheated Vapor—Constant Pressure Tables

ρ = Volume in m^3/kg H = Enthalpy in kJ/kg S = Entropy in $\text{kJ}/(\text{kg})(\text{K})$ v_s = Velocity of Sound in m/sec
 p = Heat Capacity at Constant Pressure in $\text{kJ}/(\text{kg})(^\circ\text{C})$ Cp/Cv = Heat Capacity Ratio (Dimensionless)

TEMP °C	PRESSURE = 2600.00 kPa (abs)							PRESSURE = 2800.00 kPa (abs)						TEMP °C
	V	H	S	Cp	Cp/Cv	v_s		V	H	S	Cp	Cp/Cv	v_s	
79.41	0.00107	321.8	1.3823	2.0468	2.0008	236.5	SAT LIQ	0.00111	328.6	1.4007	2.1903	2.1171	216.0	82.91
79.41	0.00657	429.3	1.6872	1.9511	1.9009	118.2	SAT VAP	0.00589	428.7	1.6819	2.1936	2.0991	115.2	82.91
80	0.00664	430.4	1.6904	1.9044	1.8601	119.2		—	—	—	—	—	—	80
85	0.00718	439.2	1.7151	1.6459	1.6339	126.1		0.00614	433.0	1.6941	1.9759	1.9096	118.8	85
90	0.00763	447.1	1.7369	1.5063	1.5114	131.7		0.00666	442.1	1.7193	1.6913	1.6622	125.8	90
95	0.00803	454.4	1.7569	1.4179	1.4330	136.5		0.00709	450.2	1.7413	1.5403	1.5307	131.5	95
100	0.00839	461.3	1.7756	1.3571	1.3781	140.7		0.00747	457.6	1.7614	1.4459	1.4477	136.4	100
105	0.00873	468.0	1.7933	1.3131	1.3373	144.5		0.00782	464.7	1.7802	1.3812	1.3897	140.7	105
110	0.00905	474.5	1.8103	1.2801	1.3056	148.0		0.00814	471.4	1.7980	1.3345	1.3469	144.5	110
115	0.00935	480.8	1.8268	1.2549	1.2803	151.2		0.00844	478.0	1.8150	1.2996	1.3137	148.1	115
120	0.00964	487.0	1.8427	1.2354	1.2595	154.2		0.00872	484.5	1.8315	1.2729	1.2873	151.3	120
125	0.00992	493.2	1.8582	1.2201	1.2422	157.1		0.00899	490.8	1.8474	1.2521	1.2657	154.4	125
130	0.01018	499.2	1.8734	1.2081	1.2275	159.8		0.00925	497.0	1.8630	1.2359	1.2477	157.3	130
135	0.01044	505.2	1.8882	1.1988	1.2149	162.3		0.00951	503.1	1.8781	1.2231	1.2324	160.0	135
140	0.01069	511.2	1.9027	1.1916	1.2039	164.8		0.00975	509.2	1.8929	1.2131	1.2193	162.6	140
145	0.01094	517.2	1.9170	1.1861	1.1943	167.1		0.00999	515.3	1.9075	1.2053	1.2080	165.1	145
150	0.01118	523.1	1.9311	1.1821	1.1858	169.4		0.01022	521.3	1.9218	1.1994	1.1981	167.4	150
155	0.01142	529.0	1.9450	1.1793	1.1782	171.5		0.01045	527.3	1.9358	1.1949	1.1893	169.7	155
160	0.01165	534.9	1.9587	1.1775	1.1714	173.6		0.01067	533.2	1.9497	1.1917	1.1814	171.9	160
165	0.01187	540.8	1.9722	1.1765	1.1653	175.7		0.01088	539.2	1.9634	1.1895	1.1744	174.0	165
170	0.01210	546.6	1.9855	1.1763	1.1597	177.6		0.01110	545.1	1.9769	1.1882	1.1681	176.1	170
175	0.01232	552.5	1.9987	1.1767	1.1547	179.6		0.01131	551.1	1.9902	1.1877	1.1624	178.1	175
180	0.01253	558.4	2.0118	1.1776	1.1500	181.4		0.01151	557.0	2.0034	1.1878	1.1572	180.0	180
185	0.01275	564.3	2.0247	1.1790	1.1458	183.2		0.01172	562.9	2.0164	1.1885	1.1524	181.9	185
190	0.01296	570.2	2.0375	1.1808	1.1418	185.0		0.01192	568.9	2.0293	1.1897	1.1480	183.7	190
195	0.01317	576.1	2.0502	1.1830	1.1382	186.7		0.01212	574.8	2.0421	1.1913	1.1440	185.5	195
200	0.01338	582.0	2.0628	1.1855	1.1348	188.4		0.01232	580.8	2.0547	1.1932	1.1402	187.3	200
205	0.01358	588.0	2.0753	1.1883	1.1317	190.1		0.01251	586.8	2.0673	1.1955	1.1367	189.0	205
210	0.01379	593.9	2.0876	1.1912	1.1288	191.7		0.01270	592.8	2.0798	1.1981	1.1335	190.6	210
215	0.01399	599.9	2.0999	1.1944	1.1260	193.3		0.01289	598.8	2.0921	1.2009	1.1305	192.3	215
220	0.01419	605.9	2.1121	1.1978	1.1234	194.9		0.01308	604.8	2.1044	1.2039	1.1277	193.9	220
225	0.01439	611.9	2.1242	1.2014	1.1210	196.4		0.01327	610.8	2.1165	1.2071	1.1250	195.5	225
230	0.01458	617.9	2.1362	1.2050	1.1187	197.9		0.01346	616.8	2.1286	1.2105	1.1225	197.0	230
235	—	—	—	—	—	—		0.01364	622.9	2.1406	1.2140	1.1202	198.6	235

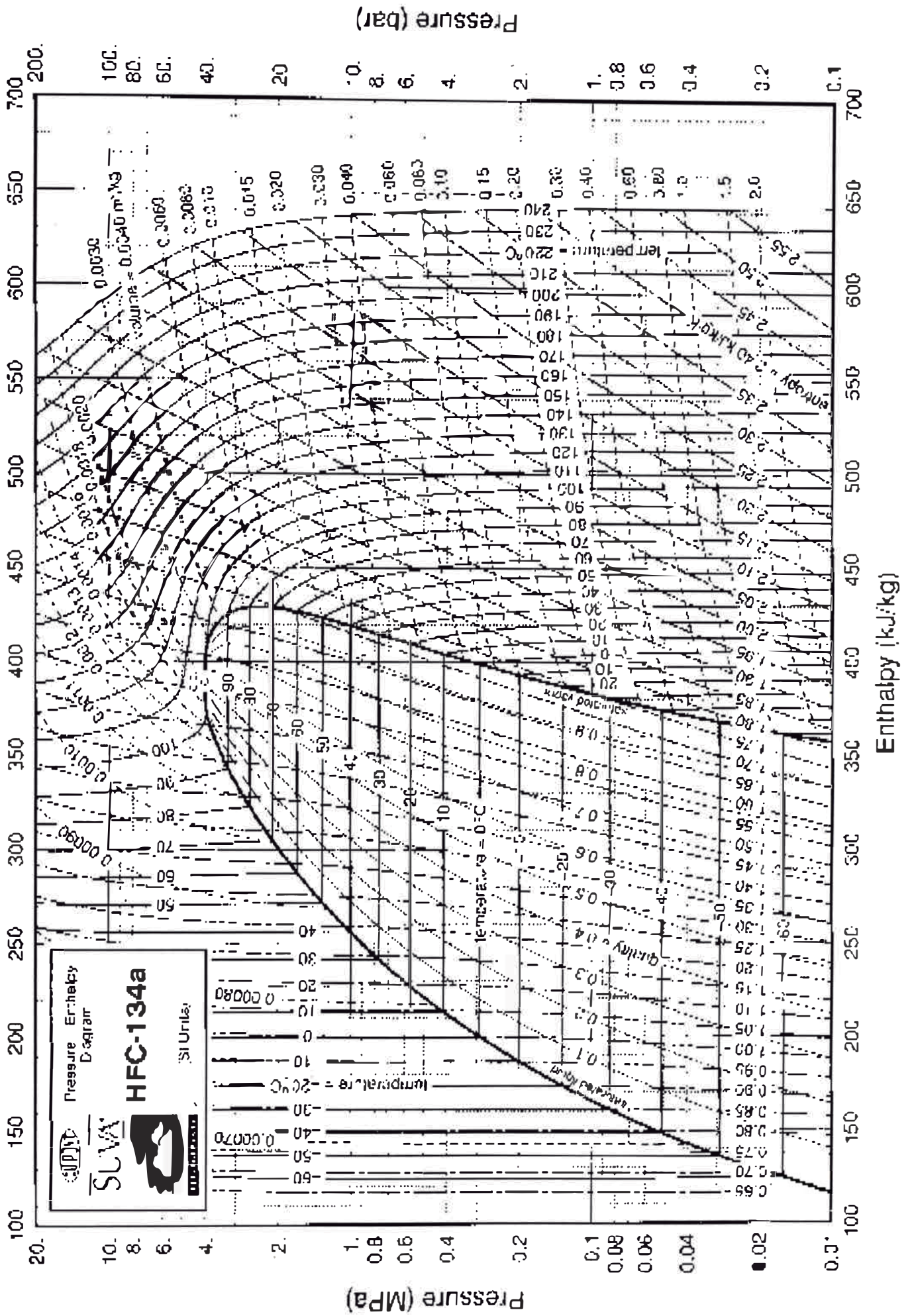
TEMP °C	PRESSURE = 3000.00 kPa (abs)							PRESSURE = 3200.00 kPa (abs)						TEMP °C
	V	H	S	Cp	Cp/Cv	v_s		V	H	S	Cp	Cp/Cv	v_s	
86.22	0.00114	335.3	1.4188	2.3843	2.2770	195.8	SAT LIQ	0.00118	342.0	1.4367	2.6657	2.5126	175.9	89.35
86.22	0.00528	427.6	1.6758	2.5300	2.3769	112.1	SAT VAP	0.00472	426.0	1.6685	3.0280	2.7912	109.1	89.35
90	0.00575	436.1	1.6992	2.0156	1.9317	119.1		0.00482	427.9	1.6737	2.8017	2.5961	110.6	90
95	0.00624	445.3	1.7245	1.7214	1.6778	126.1		0.00544	439.5	1.7056	2.0237	1.9273	119.9	95
100	0.00665	453.5	1.7466	1.5654	1.5427	131.7		0.00589	448.8	1.7307	1.7365	1.6809	126.7	100
105	0.00701	461.1	1.7667	1.4676	1.4573	136.6		0.00628	457.1	1.7527	1.5813	1.5473	132.3	105
110	0.00733	468.2	1.7855	1.4007	1.3977	140.9		0.00662	464.7	1.7728	1.4831	1.4619	137.2	110
115	0.00764	475.1	1.8034	1.3523	1.3537	144.8		0.00692	472.0	1.7916	1.4156	1.4022	141.4	115
120	0.00792	481.8	1.8204	1.3161	1.3197	148.4		0.00721	478.9	1.8094	1.3677	1.3579	145.3	120
125	0.00819	488.3	1.8369	1.2884	1.2926	151.7		0.00748	485.7	1.8264	1.3299	1.3236	148.9	125
130	0.00845	494.7	1.8528	1.2669	1.2704	154.7		0.00773	492.2	1.8428	1.3017	1.2962	152.2	130
135	0.00869	501.0	1.8683	1.2500	1.2520	157.6		0.00798	498.7	1.8587	1.2797	1.2738	155.3	135
140	0.00893	507.2	1.8835	1.2366	1.2363	160.4		0.00821	505.1	1.8742	1.2624	1.2551	158.2	140
145	0.00916	513.3	1.8983	1.2262	1.2229	163.0		0.00844	511.3	1.8893	1.2487	1.2393	160.9	145
150	0.00939	519.4	1.9128	1.2179	1.2113	165.5		0.00865	517.5	1.9041	1.2379	1.2257	163.5	150
155	0.00960	525.5	1.9271	1.2116	1.2011	167.9		0.00887	523.7	1.9186	1.2294	1.2139	166.0	155
160	0.00982	531.6	1.9411	1.2068	1.1921	170.2		0.00907	529.8	1.9328	1.2228	1.2036	168.4	160
165	0.01003	537.6	1.9549	1.2032	1.1841	172.4		0.00927	535.9	1.9468	1.2177	1.1944	170.7	165
170	0.01023	543.6	1.9686	1.2007	1.1770	174.5		0.00947	542.0	1.9606	1.2140	1.1863	173.0	170
175	0.01043	549.6	1.9820	1.1992	1.1705	176.6		0.00967	548.1	1.9742	1.2113	1.1790	175.1	175
180	0.01063	555.6	1.9953	1.1984	1.1646	178.6		0.00986	554.1	1.9876	1.2095	1.1724	177.2	180
185	0.01083	561.6	2.0085	1.1983	1.1593	180.5		0.01004	560.2	2.0009	1.2086	1.1665	179.2	185
190	0.01102	567.6	2.0215	1.1988	1.1544	182.4		0.01023	566.2	2.0140	1.2083	1.1611	181.2	190
195	0.01121	573.6	2.0344	1.1998	1.1499	184.3		0.01041	572.3	2.0270	1.2086	1.1561	183.1	195
200	0.01139	579.6	2.0471	1.2012	1.1458	186.1		0.01059	578.3	2.0398	1.2094	1.1515	184.9	200
205	0.01158	585.6	2.0598	1.2030	1.1420	187.8		0.01077	584.4	2.0526	1.2107	1.1473	186.7	205
210	0.01176	591.6	2.0723	1.2051	1.1384	189.6		0.01094	590.4	2.0652	1.2123	1.1434	188.5	210
215	0.01194	597.6	2.0847	1.2075	1.1351	191.3		0.01111	596.5	2.0776	1.2143	1.1398	190.2	215
220	0.01212	603.7	2.0970	1.2102	1.1320	192.9		0.01129	602.6	2.0900	1.2166	1.1365	191.9	220
225	0.01230	609.7	2.1092	1.2130	1.1291	194.5		0.01146	608.6	2.1023	1.2191	1.1333	193.6	225
230	0.01248	615.8	2.1214	1.2161	1.1264	196.1		0.01162	614.8	2.1145	1.2218	1.1304	195.2	230
235	0.01265	621.9	2.1334	1.2194	1.1239	197.7		0.01179	620.9	2.1266	1.2248	1.1276	196.8	235
240	0.01283	628.0	2.1454	1.2227	1.1215	199.2		0.01196	627.0	2.1386	1.2279	1.1251	198.4	240

TABLE 2 (continued)
HFC-134a Superheated Vapor—Constant Pressure Tables

V = Volume in m³/kg H = Enthalpy in kJ/kg S = Entropy in kJ/(kg)(K) v_s = Velocity of Sound in m/sec
 Cp = Heat Capacity at Constant Pressure in kJ/(kg)(°C) Cp/Cv = Heat Capacity Ratio (Dimensionless)

TEMP °C	PRESSURE = 3400.00 kPa (abs)						SAT LIQ SAT VAP	PRESSURE = 3600.00 kPa (abs)						TEMP °C
	V	H	S	Cp	Cp/Cv	v _s		V	H	S	Cp	Cp/Cv	v _s	
92.32	0.00123	348.8	1.4548	3.1183	2.8961	156.1	SAT LIQ	0.00130	356.0	1.4737	3.9821	3.6345	136.2	95.15
92.32	0.00420	423.6	1.6596	3.8377	3.4671	106.0	SAT VAP	0.00370	420.3	1.6483	5.3756	4.7521	102.8	95.15
95	0.00463	432.0	1.6825	2.6656	2.4643	112.6		—	—	—	—	—	—	95
100	0.00518	443.4	1.7132	2.0061	1.9016	121.2		0.00449	436.6	1.6924	2.5079	2.3168	115.0	100
105	0.00561	452.7	1.7379	1.7383	1.6732	127.8		0.00498	447.6	1.7216	1.9711	1.8620	122.9	105
110	0.00597	461.0	1.7597	1.5889	1.5452	133.3		0.00537	456.8	1.7458	1.7296	1.6572	129.2	110
115	0.00629	468.7	1.7796	1.4930	1.4622	138.0		0.00571	465.1	1.7672	1.5896	1.5377	134.5	115
120	0.00658	475.9	1.7983	1.4263	1.4035	142.2		0.00601	472.8	1.7870	1.4978	1.4586	139.1	120
125	0.00685	482.9	1.8160	1.3777	1.3596	146.1		0.00628	480.1	1.8055	1.4333	1.4019	143.2	125
130	0.00710	489.7	1.8329	1.3411	1.3255	149.6		0.00654	487.1	1.8230	1.3859	1.3592	147.0	130
135	0.00734	496.4	1.8493	1.3128	1.2982	152.9		0.00678	494.0	1.8399	1.3499	1.3258	150.5	135
140	0.00757	502.9	1.8651	1.2908	1.2758	156.0		0.00700	500.6	1.8561	1.3220	1.2989	153.8	140
145	0.00779	509.3	1.8805	1.2733	1.2571	158.9		0.00722	507.2	1.8719	1.3001	1.2767	156.8	145
150	0.00801	515.6	1.8956	1.2595	1.2413	161.6		0.00743	513.6	1.8873	1.2828	1.2582	159.7	150
155	0.00821	521.9	1.9103	1.2485	1.2276	164.2		0.00763	520.0	1.9022	1.2690	1.2424	162.4	155
160	0.00842	528.1	1.9247	1.2399	1.2158	166.7		0.00783	526.3	1.9169	1.2581	1.2288	165.0	160
165	0.00861	534.3	1.9389	1.2331	1.2054	169.1		0.00802	532.6	1.9313	1.2494	1.2170	167.5	165
170	0.00880	540.4	1.9529	1.2279	1.1962	171.4		0.00821	538.8	1.9454	1.2425	1.2066	169.9	170
175	0.00899	546.6	1.9667	1.2240	1.1880	173.6		0.00839	545.0	1.9594	1.2373	1.1974	172.2	175
180	0.00917	552.7	1.9802	1.2211	1.1806	175.8		0.00857	551.2	1.9731	1.2333	1.1892	174.4	180
185	0.00935	558.8	1.9936	1.2192	1.1740	177.9		0.00874	557.4	1.9866	1.2303	1.1818	176.6	185
190	0.00953	564.9	2.0068	1.2181	1.1680	179.9		0.00891	563.5	1.9999	1.2284	1.1752	178.7	190
195	0.00971	571.0	2.0199	1.2177	1.1625	181.9		0.00908	569.7	2.0131	1.2272	1.1691	180.7	195
200	0.00988	577.1	2.0328	1.2179	1.1575	183.8		0.00925	575.8	2.0261	1.2267	1.1636	182.7	200
205	0.01005	583.1	2.0457	1.2186	1.1529	185.7		0.00941	581.9	2.0390	1.2267	1.1586	184.6	205
210	0.01022	589.2	2.0583	1.2197	1.1486	187.5		0.00957	588.1	2.0518	1.2273	1.1540	186.5	210
215	0.01038	595.3	2.0709	1.2212	1.1447	189.3		0.00973	594.2	2.0644	1.2284	1.1497	188.3	215
220	0.01055	601.5	2.0834	1.2231	1.1410	191.0		0.00989	600.3	2.0770	1.2298	1.1457	190.1	220
225	0.01071	607.6	2.0957	1.2253	1.1376	192.7		0.01005	606.5	2.0894	1.2316	1.1420	191.8	225
230	0.01087	613.7	2.1080	1.2277	1.1345	194.4		0.01020	612.7	2.1017	1.2336	1.1386	193.5	230
235	0.01103	619.8	2.1201	1.2303	1.1315	196.0		0.01035	618.8	2.1139	1.2359	1.1354	195.2	235
240	0.01119	626.0	2.1322	1.2331	1.1287	197.6		0.01050	625.0	2.1260	1.2385	1.1324	196.8	240
245	0.01134	632.2	2.1441	1.2361	1.1261	199.2		0.01065	631.4	2.1380	1.2412	1.1296	198.4	245
250	—	—	—	—	—	—		0.01080	637.4	2.1500	1.2441	1.1269	200.0	250

TEMP °C	PRESSURE = 3800.00 kPa (abs)						SAT LIQ SAT VAP	PRESSURE = 4000.00 kPa (abs)						TEMP °C
	V	H	S	Cp	Cp/Cv	v _s		V	H	S	Cp	Cp/Cv	v _s	
97.83	0.00139	364.0	1.4947	6.3049	5.6279	116.1	SAT LIQ	0.00158	375.6	1.5250	28.1470	24.2211	95.7	100.37
97.83	0.00319	415.1	1.6324	9.3686	8.0817	99.5	SAT VAP	0.00254	404.4	1.6022	42.1018	35.2394	95.0	100.37
100	0.00374	427.0	1.6645	3.8743	3.4563	107.3		—	—	—	—	—	—	100
105	0.00438	441.5	1.7031	2.3563	2.1772	117.6		0.00376	433.7	1.6804	3.1309	2.8151	111.6	105
110	0.00482	452.1	1.7309	1.9265	1.8153	124.9		0.00429	446.7	1.7143	2.2216	2.0540	120.4	110
115	0.00517	461.1	1.7543	1.7135	1.6356	130.8		0.00468	456.8	1.7406	1.8780	1.7663	127.1	115
120	0.00549	469.4	1.7754	1.5848	1.5261	135.9		0.00501	465.7	1.7634	1.6927	1.6106	132.7	120
125	0.00577	477.1	1.7948	1.4986	1.4519	140.4		0.00530	473.8	1.7840	1.5762	1.5117	137.5	125
130	0.00602	484.4	1.8131	1.4371	1.3979	144.4		0.00556	481.5	1.8031	1.4963	1.4429	141.8	130
135	0.00626	491.4	1.8306	1.3915	1.3569	148.1		0.00580	488.8	1.8212	1.4384	1.3921	145.8	135
140	0.00649	498.3	1.8473	1.3566	1.3245	151.6		0.00603	495.9	1.8385	1.3950	1.3530	149.4	140
145	0.00671	505.0	1.8634	1.3295	1.2982	154.8		0.00624	502.8	1.8550	1.3615	1.3219	152.8	145
150	0.00691	511.6	1.8791	1.3080	1.2766	157.8		0.00645	509.5	1.8710	1.3354	1.2965	155.9	150
155	0.00711	518.1	1.8944	1.2910	1.2583	160.7		0.00664	516.2	1.8866	1.3146	1.2755	158.9	155
160	0.00731	524.5	1.9093	1.2775	1.2428	163.4		0.00683	522.7	1.9018	1.2981	1.2577	161.7	160
165	0.00749	530.9	1.9239	1.2666	1.2293	166.0		0.00702	529.2	1.9166	1.2849	1.2424	164.4	165
170	0.00767	537.2	1.9382	1.2580	1.2176	168.4		0.00719	535.6	1.9311	1.2743	1.2293	167.0	170
175	0.00785	543.5	1.9523	1.2512	1.2073	170.8		0.00737	541.9	1.9454	1.2658	1.2177	169.4	175
180	0.00802	549.7	1.9661	1.2459	1.1982	173.1		0.00753	548.2	1.9594	1.2591	1.2076	171.8	180
185	0.00819	555.9	1.9798	1.2419	1.1900	175.3		0.00770	554.5	1.9732	1.2539	1.1985	174.1	185
190	0.00836	562.1	1.9932	1.2390	1.1827	177.5		0.00786	560.8	1.9867	1.2499	1.1904	176.3	190
195	0.00852	568.3	2.0065	1.2369	1.1760	179.6		0.00802	567.0	2.0001	1.2470	1.1831	178.4	195
200	0.00868	574.5	2.0197	1.2357	1.1700	181.6		0.00817	573.2	2.0134	1.2450	1.1765	180.5	200
205	0.00884	580.7	2.0326	1.2351	1.1645	183.5		0.00833	579.4	2.0265	1.2438	1.1705	182.5	205
210	0.00900	586.9	2.0455	1.2351	1.1594	185.5		0.00848	585.7	2.0394	1.2432	1.1650	184.5	210
215	0.00915	593.0	2.0582	1.2357	1.1548	187.3		0.00863	591.9	2.0522	1.2431	1.1600	186.4	215
220	0.00930	599.2	2.0708	1.2366	1.1505	189.1		0.00877	598.1	2.0649	1.2436	1.1554	188.3	220
225	0.00945	605.4	2.0833	1.2380	1.1465	190.9		0.00892	604.3	2.0774	1.2445	1.1511	190.1	225
230	0.00960	611.6	2.0957	1.2397	1.1428	192.7		0.00906	610.5	2.0898	1.2458	1.1471	191.9	230
235	0.00975	617.8	2.1079	1.2416	1.1394	194.4		0.00920	616.8	2.1022	1.2475	1.1434	193.6	235
240	0.00989	624.0	2.1201	1.2439	1.1362	196.1		0.00934	623.0	2.1144	1.2494	1.1400	195.3	240
245	0.01004	630.2	2.1322	1.2463	1.1331	197.7		0.00948	629.3	2.1265	1.2515	1.1368	197.0	245
250	0.01018	636.5	2.1441	1.2490	1.1303	199.3		0.00962	635.5	2.1386	1.2539	1.1337	198.6	250



For Further Information:

DuPont Fluorochemicals
Wilmington, DE 19880-0711
(800) 235-Suva
www.suva.dupont.com

Europe

DuPont de Nemours
International S.A.
2 Chemin du Pavillon
P.O. Box 50
CH-1218 Le Grand-Saconnex
Geneva, Switzerland
41-22-717-5111

Canada

DuPont Canada, Inc.
P.O. Box 2200, Streetsville
Mississauga, Ontario
Canada
L5M 2H3
(905) 821-3300

Mexico

DuPont, S.A. de C.V.
Homero 206
Col. Chapultepec Morales
C.P. 11570 Mexico, D.F.
52-5-722-1100

South America

DuPont do Brasil S.A.
Alameda Itapecuru, 506
Alphaville 06454-080 Barueri
São Paulo, Brazil
55-11-7266-8263

DuPont Argentina S.A.
Casilla Correo 1888
Correo Central
1000 Buenos Aires, Argentina
54-1-311-8167

Pacific

DuPont Australia
P.O. Box 930
North Sydney, NSW 2060
Australia
61-2-99236111

Japan

Mitsui DuPont Fluorochemicals
Co., Ltd.
Chiyoda Honsha Bldg.
5-18, 1-Chome Sarugakucho
Chiyoda-Ku, Tokyo 101-0064 Japan
81-3-5281-5805

Asia

DuPont Taiwan
P.O. Box 81-777
Taipei, Taiwan
886-2-514-4400

DuPont China Limited
P.O. Box TST 98851
1122 New World Office Bldg.
(East Wing)
Tsim Sha Tsui
Kowloon, Hong Kong
Phone: 852-734-5398
Fax: 852-236-83516

DuPont Thailand Ltd.
9-11 Floor, Yada Bldg.
56 Silom Road
Suriyawongse, Bankrak
Bangkok 10500
Phone: 66-2-238-0026
Fax: 66-2-238-4396

DuPont China Ltd.
Rm. 1704, Union Bldg.
100 Yenan Rd. East
Shanghai, PR China 200 002
Phone: 86-21-328-3738
Telex: 33448 DCLSH CN
Fax: 86-21-320-2304

DuPont Far East Inc.
6th Floor Bangunan Samudra
No. 1 JLN. Kontraktor UI/14, SEK UI
Hicom-Glenmarie Industrial Park
40150 Shah Alam, Selangor Malaysia
Phone 60-3-517-2534

DuPont Korea Inc.
4/5th Floor, Asia Tower
#726, Yeoksam-dong, Kangnam-ku
Seoul, 135-082, Korea
82-2-721-5114

DuPont Singapore Pte. Ltd.
1 Maritime Square #07 01
World Trade Centre
Singapore 0409
65-273-2244

DuPont Far East, Philippines
8th Floor, Solid Bank Bldg.
777 Paseo de Roxas
Makati, Metro Manila
Philippines
Phone: 63-2-818-9911
Fax: 63-2-818-9659

DuPont Far East Inc.
7A Murray's Gate Road
Alwarpet
Madras, 600 018, India
91-44-454-029

DuPont Far East Inc.—Pakistan
9 Khayaban-E-Shaheen
Defence Phase 5
Karachi, Pakistan
92-21-533-350

DuPont Far East Inc.
P.O. Box 2553/Jkt
Jakarta 10001, Indonesia
62-21-517-800

The information contained herein is based on technical data and tests which we believe to be reliable and is intended for use by persons having technical skill, at their own discretion and risk. Because conditions of use are outside of DuPont control, we can assume no liability for results obtained or damages incurred through the application of the data presented.

© 2004. E. I. du PONT de NEMOURS AND COMPANY. ALL RIGHTS RESERVED.

NO PART OF THIS MATERIAL MAY BE REPRODUCED, STORED IN A RETRIEVAL SYSTEM OR TRANSMITTED IN ANY FORM OR BY ANY MEANS ELECTRONIC, MECHANICAL, PHOTOCOPYING, RECORDING, OR OTHERWISE WITHOUT THE PRIOR WRITTEN PERMISSION OF DUPONT.



The miracles of science