



UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA  
SEDE CONCEPCIÓN - REY BALDUINO DE BELGICA

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA**

**SEDE CONCEPCIÓN- REY BALDUINO DE BÉLGICA**

**MEJORA DE PROCEDIMIENTO EN MONTAJE DE PIEZAS MECÁNICAS  
POR CRIOGENIA (EMPRESA KOMATSU REMAN)**

Trabajo para optar al Título Profesional de  
INGENIERO DE EJECUCIÓN EN  
MANTENIMIENTO INDUSTRIAL.

Alumno:

Eduardo Fabián Salgado Zapata

Profesor Guía:

Alex Eriz Soto

**2018**

## **KEYWORDS**

**Criogenia:** proceso de técnicas o prácticas que se llevan a cabo utilizando muy bajas temperaturas.

**Ebullición:** proceso físico en el que un líquido pasa a estado gaseoso.

**Sumersión:** inmersión o sumergimiento total de un cuerpo en un líquido.

**Interferencia:** ajuste a presión que se obtiene cuando el diámetro de una pieza mecánica es mayor que el agujero en el que será instalada.

## **RESUMEN**

El objetivo principal de este proyecto se enfoca en la propuesta de mejora de un procedimiento asociado a la etapa de ensamble de piezas por contracción en una empresa dedicada a realizar Overhaul de equipos mineros (Movimiento de tierra y equipos de apoyo). Para esto, se expone y analiza el procedimiento actual dentro de la compañía, abarcando tiempos, herramientas, elementos de protección y experiencia acumulada vigente. De esta manera se requiere obtener un respaldo informativo de cómo se logra ejecutar esta tarea durante las diferentes etapas de armado de componentes.

En base a la mejora, se hace una introducción a la propuesta: “Mejora de procedimiento en montaje de piezas mecánicas por criogenia”, explicando en qué consiste dicha mejora, qué componentes nuevos o de reemplazo deben usarse, y por qué.

Para finalizar se desarrolla la implementación teórica de la propuesta de mejora, respaldando a través de un estudio el nuevo procedimiento de trabajo, mediante análisis costo beneficio, seguridad y tiempos estimados de ejecución de la tarea.

La orientación de esta implementación es hacia la búsqueda de una alternativa de trabajo que logre mejorar el procedimiento actual y a su vez reducir costos en relación al uso del recurso empleado para contraer las diferentes piezas para ensamble.

El estudio realizado permite llevar a cabo un procedimiento alternativo con un respaldo sólido, basado en mediciones de tiempo y análisis dimensional que permitirá respaldar técnicamente la tarea de montaje de piezas mecánicas por criogenia.

## ÍNDICE

|                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------|----|
| INTRODUCCION                                                      | 1  |
| OBJETIVOS                                                         | 2  |
| Objetivo general                                                  | 2  |
| Objetivos específicos                                             | 2  |
| METODOLOGÍA                                                       | 3  |
| JUSTIFICACIÓN                                                     | 3  |
| 1.1. MÉTODO DE FABRICACIÓN DE GASES                               | 5  |
| 1.1.2. Destilación fraccionada del aire                           | 5  |
| 1.2. GASES CRIOGÉNICOS                                            | 6  |
| 1.2.1. Subclasificación de gases                                  | 7  |
| 1.2.2. Almacenamiento de gases criogénicos                        | 8  |
| 1.2.3. Características de los cilindros                           | 8  |
| 1.2.4. Inspección y prueba de cilindros                           | 8  |
| 1.2.5. Inspección visual                                          | 9  |
| 1.3. TRANSPORTE DE GASES CRIOGÉNICOS                              | 10 |
| 1.4. NITRÓGENO: IDENTIFICACIÓN, CARACTERÍSTICAS Y APLICACIONES    | 11 |
| 1.5. FACTORES DE RIESGO EN MANEJO DE GASES                        | 11 |
| 1.5.1 Riesgos principales en la manipulación de gases criogénicos | 12 |
| 1.6. TERMOS CRIOGÉNICOS                                           | 13 |
| 1.6.1. Características de los termos criogénicos                  | 14 |
| 1.6.2 Ventajas del termo criogénico                               | 15 |
| 2. ESTUDIO Y ANÁLISIS DE PROCEDIMIENTO ACTUAL DE TRABAJO          | 17 |
| 2.1. OBJETIVO DE TALLER                                           | 17 |
| 2.2. APLICACIÓN DE PROCEDIMIENTO NITRÓGENO LÍQUIDO                | 20 |
| 2.3. KIT DE USO NITRÓGENO LÍQUIDO                                 | 21 |
| 2.4. ANÁLISIS CAUSA RAÍZ – ISHIKAWA                               | 21 |
| 2.4.1. Causas definidas                                           | 22 |
| 2.4.2. Criterios de evaluación de las causas                      | 23 |
| 2.4.3. Resultados por escala de clasificación                     | 25 |
| 2.5. EXIGENCIA NORMA OHSAS 18001                                  | 28 |

|                                                    |    |
|----------------------------------------------------|----|
| 3. MEDICIÓN DE PARÁMETROS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS | 32 |
| 3.1. Medición de parámetros                        | 32 |
| 3.2. Respaldo estadístico                          | 38 |
| CONCLUSIONES                                       | 42 |
| BIBLIOGRAFÍA                                       | 44 |
| ANEXOS                                             | 45 |

**ÍNDICE DE FIGURAS**

|                                                                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1-1: proceso de destilación fraccionada del aire. fuente: plataforma web google imágenes.....                                                          | 6  |
| Figura 1-2: identificación de cilindros según código de colores. fuente: plataforma web google imágenes. ....                                                 | 8  |
| Figura 1-3: eestructura cilindro criogénico. fuente: plataforma web google imágenes. ....                                                                     | 15 |
| Figura 2-1: flujograma etapa de ensamble de componentes. fuente: sgi documentos empresa komatsu reman center. ....                                            | 18 |
| Figura 2-2: procedimiento de montaje por contracción cilindro de dirección 930e. ....                                                                         | 19 |
| Figura 2-3. imágenes kit de nitrógeno utilizado para montaje de piezas por contracción. fuente: elaboración propia en empresa komatsu reman center. ....      | 21 |
| Figura 2-4: esquema ishikawa análisis causa raíz de la problemática. fuente: elaboración propia. ....                                                         | 22 |
| Figura 2-5: importancia de las causas según su incidencia en la problemática fuente: elaboración propia. ....                                                 | 25 |
| Figura 2-6: procedimiento de montaje por contracción cilindro de dirección 930e. fuente: sistema reso intranet empresa komatsu reman center. ....             | 27 |
| Figura 2-7: gráfico esfuerzo deformación de los materiales. fuente: plataforma web google imágenes. ....                                                      | 28 |
| Figura 2-8: procedimiento de montaje por contracción cilindro de dirección 930e. fuente: sgi documentos empresa komatsu reman center.....                     | 29 |
| Figura 3-: histograma que refleja el comportamiento normal de los nuevos tiempos de trabajo. fuente: elaboración propia en empresa komatsu reman center. .... | 41 |

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1-1.Temperaturas de gases criogénicos. Fuente: Material de capacitación Universidad Central..... 7

Tabla 2-1.Controles internos en proceso de armado. Fuente: SGI Documentos Empresa Komatsu Reman Center..... 17

Tabla 3-1. Tiempos de sumersión para cada pieza según ajuste de interferencia. Fuente: Elaboración propia en Empresa Komatsu Reman Center ..... 33

Tabla 3-2. Tabla de tiempos óptimos de sumersión para cada pieza según contracción. Fuente: Elaboración propia en Empresa Komatsu Reman Center. .... 34

Tabla 3-3. Tabla de rendimiento de termo criogénico según demanda mensual. Fuente: Elaboración propia en Empresa Komatsu Reman Center. .... 35

Tabla 3-4. Tabla de análisis tiempo actual v/s tiempo óptimo de sumersión. Fuente: Elaboración propia en Empresa Komatsu Reman Center. .... 36

Tabla 3-5. Inversión actual con tiempo de sumersión vigente. Fuente: Elaboración propia en Empresa Komatsu Reman Center. .... 37

Tabla 3-6. Inversión futura con tiempo óptimo de sumersión. Fuente: Elaboración propia en Empresa Komatsu Reman Center. .... 38

Tabla 3-7. Ecuación de cálculo de muestra para una población finita. Fuente: Elaboración propia en Empresa Komatsu Reman Center. .... 39

Tabla 3-8. Tabla de valores conocidos para cálculo de muestra. Valor de la muestra. Fuente: Elaboración propia en Empresa Komatsu Reman Center. .... 39

Tabla 3-9. Tabla de análisis tiempo óptimo de sumersión para 25 termos de nitrógeno en observación. Fuente: Elaboración propia en Empresa Komatsu Reman Center. .... 40

## **SIMBOLOGÍA**

|       |                                                         |
|-------|---------------------------------------------------------|
| DOT   | : Department of Transportation USA.                     |
| SGI   | : Sistema de Gestión Integrado Komatsu Reman Center.    |
| RESO  | : Sistema de intranet Komatsu Reman Center Chile.       |
| KRCC  | : Komatsu Reman Center Chile.                           |
| OHSAS | : Sistemas de Gestión de Seguridad y Salud Ocupacional. |
| ISO   | : Organización Internacional de Estandarización.        |

## **INTRODUCCIÓN**

El proyecto consiste en proponer un plan de mejora de un procedimiento actual de trabajo, mediante la optimización del recurso utilizado en el montaje de piezas mecánicas por criogenia, según la actual demanda de los talleres Hidráulico y Electromecánico de la compañía Komatsu Reman Center.

Los puntos importantes tratados están relacionados con el estudio de la mejora, en las etapas de ensamble de componentes y que requieren precisión en su ejecución. Adicionalmente se pretende aportar nuevos tiempos de trabajo al área de planificación, no dejando nada al azar, y de esta manera respaldar la acción de mejora con todo lo que involucra la optimización del recurso.

El desarrollo está principalmente basado en un análisis acerca de qué método de estudio es conveniente concretar para llevar a cabo la idea de proyecto planteada, permitiendo de esta manera desarrollar una propuesta atractiva, cumpliendo a cabalidad cada uno de los objetivos planteados.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

- Optimizar el recurso utilizado para el montaje de piezas mecánicas por criogenia en etapa de ensamble de componentes.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Comprender qué son los gases criogénicos, sus factores de riesgo y formas de manipulación, a través de sus características e identificación del gas nitrógeno.
- Evaluar el procedimiento vigente de trabajo para el montaje de piezas por contracción, para establecer un método de investigación.
- Analizar resultados de la investigación, a través de la medición de parámetros, para definir mejora de procedimiento.

## **METODOLOGÍA**

La guía de trabajo es una metodología teórica, basándose en información sobre el proceso de criogenia (su utilidad y aplicaciones), tecnología de materiales y metrología.

El desarrollo de la investigación se inicia al recopilar la información necesaria para entender el concepto de Criogenia y cuál es su utilización dentro de la industria mecánica, además de analizar cuál es el mejor método para cumplir con el objetivo principal del proyecto, la optimización del recurso utilizado para montaje de piezas por criogenia.

En base al punto anterior surge la inquietud de generar una propuesta que permita modificar y complementar el procedimiento actual de trabajo, contribuyendo a la industria y generando diferentes objetivos, sobre los cuales la investigación continúa siendo desarrollada.

Finalmente se reúne lo necesario para que la propuesta de modificación tenga un rumbo concreto y pueda ser efectiva en cuanto a herramientas utilizadas y a su utilidad. Durante el desarrollo del trabajo la investigación se transforma en una herramienta fundamental que permite cumplir de manera eficaz los objetivos inicialmente planteados.

## **JUSTIFICACIÓN**

Este trabajo se realiza a través de la recopilación de información de manera independiente basándose en la relación de conceptos, mediciones y diferentes parámetros. Según lo planteado se pretende alcanzar el objetivo con un enfoque y alcance cuantitativo y correlativo. El primero estará presente en el hecho de que la investigación responderá en base al comportamiento de los materiales sometidos a bajas temperaturas, mediante mediciones continuas de dimensión en lapsos de tiempo determinados. Se analizarán en conjunto, la propuesta de mejora y el procedimiento actual, para determinar la mejor manera de alcanzar el objetivo. La correlación se hará notar en la importancia de cada uno de los conceptos partiendo desde lo más básico hasta lo más complejo, siguiendo un orden de trabajo que permita ensamblar los términos formando una idea clara y concisa.

**CAPITULO 1:**  
**ELEMENTOS GASEOSOS Y GASES CRIOGÉNICOS**

---

## **1. ELEMENTOS GASEOSOS Y GASES CRIOGÉNICOS**

### **1.1. MÉTODO DE FABRICACIÓN DE GASES**

La atmósfera posee una mezcla de diferentes gases. El aire que respiramos se compone mayormente de nitrógeno (78, 09%), luego oxígeno (20.95%), de una pequeña proporción de argón (0,93%) y de otros gases nobles (0,03%).

El oxígeno, nitrógeno y argón son los gases principales extraídos del aire. Se producen a gran escala a nivel industrial y son tan importantes como el agua y la electricidad en muchos procesos industriales.

Para obtener estos gases utilizamos un proceso llamado fraccionamiento del aire, en el que se separa el aire en sus componentes individuales mediante un proceso físico, la destilación criogénica.

#### **1.1.2. Destilación fraccionada del aire**

La destilación fraccionada es un proceso de destilación de mezclas complejas y componentes de similar volatilidad. En la ilustración anterior, un esquema de este procedimiento. La destilación fraccionada consiste en que los vapores de los líquidos más volátiles depositados en un matraz y calentados con una llama abierta, previos a llegar a un refrigerante, pasan por una larga columna de fraccionamiento, la cual posee unas placas en las que estos gases se depositan y se condensan. Al condensarse, vuelven a descender y en su trayectoria se encuentran con vapores que vaporizan nuevamente los líquidos más volátiles, volviendo a quedar retenidos un poco más alto en la columna, de tal forma que los vapores se van concentrando del líquido que es más volátil y se van segregando para luego pasar a través de un refrigerante y depositarse en un matraz colector.

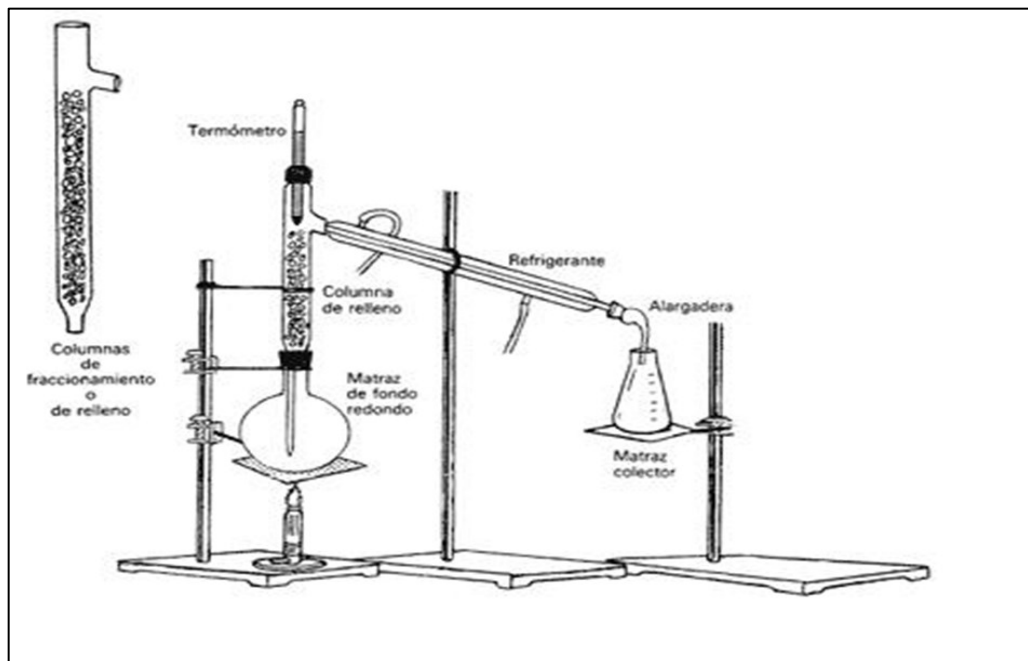


Figura 1-1: Proceso de destilación fraccionada del aire. Fuente: Plataforma web Google imágenes

## 1.2. GASES CRIOGÉNICOS

Los gases criogénicos son aquellos gases que, para mantenerse en estado líquido, se les deben proporcionar temperaturas muy bajas, generalmente por encima de su punto de ebullición a temperatura y presión normales, y a presiones proporcionalmente bajas o moderadas. La principal diferencia entre el gas licuado y el nitrógeno, es que éste último no puede mantenerse indefinidamente en el recipiente que lo contiene debido a que no puede impedir la penetración del calor de la atmósfera, que tiende constantemente a elevar su presión hasta un nivel que puede llegar a exceder la resistencia de cualquier tipo de recipiente.

La temperatura de ebullición de los gases criogénicos es inferior a  $-40^{\circ}\text{C}$ , y en el caso de aquellos que descienden de los  $-100^{\circ}\text{C}$  son almacenados en tanques estacionarios o portátiles.

|           |        |
|-----------|--------|
| OXÍGENO   | -183°C |
| NITRÓGENO | -196°C |
| ARGÓN     | -186°C |
| HELIO     | -266°C |

Tabla 1-1.Temperaturas de gases criogénicos. Fuente: Material de capacitación Universidad Central.

1.2.1. Subclasificación de gases

**OXIDANTES**

Se conocen también como comburentes (aceleradores de la combustión). Reaccionan violentamente con grasas, aceites y derivados de hidrocarburos. Oxígeno (O<sub>2</sub>), Óxido Nitroso (N<sub>2</sub>O).

**INFLAMABLES**

Son gases que en determinadas concentraciones arden en presencia de aire. Hidrógeno (H<sub>2</sub>), Acetileno (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>)

**INHERENTES**

Desplazan al Oxígeno del medio ambiente. Nitrógeno (N<sub>2</sub>), Argón (Ar), Helio (He, Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>).

1.2.2. Almacenamiento de gases criogénicos

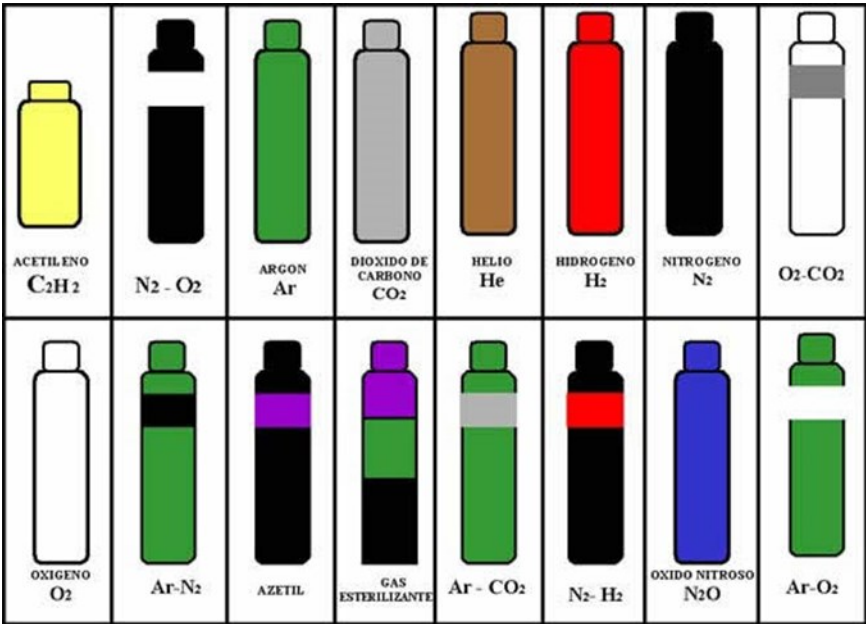


Figura 1-2: Identificación de cilindros según código de colores. Fuente: Plataforma web Google imágenes.

1.2.3. Características de los cilindros

- Envase de acero con aleación de acero sin costura.
- Presiones de diseño 1800 – 3000 psi.
- Cilindros baja presión 1800 psi.
- Cilindros alta presión 2015 psi.
- Almacenamiento de gases comburentes, combustibles o inertes excepto acetileno.

1.2.4. Inspección y prueba de cilindros

Los cilindros que deben contener gas comprimido a altas presiones, necesitan un control periódico de su estado, para seguridad de los usuarios..

### 1.2.5. Inspección visual

Se deben inspeccionar regularmente externa e internamente las paredes de los cilindros para evidenciar presencia de algún deterioro como cortes, abolladuras, hendiduras, exceso de corrosión o señales de arco eléctrico. En el caso de existir algún deterioro, este debe ser analizado para determinar su criticidad, aunque en algunos casos, como la señal de arco eléctrico, el cilindro debe ser rechazado e inutilizado definitivamente. Adicionalmente, se debe inspeccionar el estado de la válvula, especialmente su hilo y la fecha de la última prueba hidrostática.

### **PRUEBA DE OLOR**

Previo al llenado de un cilindro, se comprueba el olor de su contenido anterior para detectar posible contaminación.

### **PRUEBA DE SONIDO**

Sirve para verificar si el cilindro presenta alguna falla (Oxidación interna, líquido, grieta, etc.). También sirve para comprobar si el cilindro está vacío (sonido de campana) o cargado.

### **PRUEBA HIDROSTÁTICA**

La vida útil de un cilindro es de muchos años dependiendo del trato que este haya recibido, por esta razón es necesario verificar periódicamente la resistencia del material del cilindro. Las pruebas se realizan estrictamente bajo las normas de la Compressed Gas Association de Estados Unidos.

La prueba hidrostática es una norma DOT obligatoria. En esta prueba, los cilindros deben ser sometidos a presiones de prueba equivalentes a 5/3 la presión de servicio.

- En cilindros de alta presión esta prueba se debe realizar cada 10 años.
- En cilindros de baja presión cada 5 años.
- En cilindros portátiles cada 5 años.

Esta prueba debe ser registrada con número de golpe en la ojiva del cilindro y adicionalmente en ella se debe indicar el mes y el año en que se realizó la última prueba hidrostática.

### **1.3. TRANSPORTE DE GASES CRIOGÉNICOS**

Los gases criogénicos son gases licuados obtenidos del proceso de destilación fraccionada del aire, que se almacenan y transportan como líquidos a temperaturas por debajo de los  $-101^{\circ}\text{C}$ . Los más comunes son el Nitrógeno líquido, Oxígeno, Flúor, Metano, etc.

Los tanques de almacenamiento de alta capacidad son del tipo doble pared, de acero inoxidable austérmico en el interior o acero al 95 de Níquel y en el exterior de acero al carbono, sirviendo de intercámara como elemento aislante, con o sin vacío en el interior de la misma, logrando así un aislamiento térmico adecuado que mantiene al líquido a temperaturas próximas al punto de ebullición.

El control de presión en el interior de los tanques está regulado mediante registradores continuos, discos de rotura y válvulas de alivio, que no permiten que la presión aumente por sobre la máxima presión de trabajo del tanque.

El transporte se lleva a cabo en cisternas del tipo doble pared con aislamiento de alto vacío en la intercámara, que además, está rellena de perlita, un súper aislamiento para mantener un adecuado aislamiento térmico. El líquido se mantiene a temperaturas lo más bajas posibles para mantener la presión de trabajo a  $2\text{ kg/cm}^2$ , aunque pueden encontrarse suministros a alta presión que pueden alcanzar los  $18\text{ kg/cm}^2$ .

En el caso de un exceso de temperatura en el exterior, para prevenir la ruptura por aumento de presión, las cisternas criogénicas cuentan con válvulas de sobre presión y discos de rotura. Al accionarse estas válvulas, únicamente liberan gas, no líquido, y como medida de seguridad adicional el espacio de aislamiento entre las dos paredes está equipado con una válvula de sobre presión de baja presión. Debido a que la operatividad de estas válvulas es vital para aliviar el exceso de presión y prevenir fallos en la cisterna, no se ha de permitir en ningún caso se inutilicen por la formación de hielo. Así pues, se ha de mantener lejos el agua de las válvulas de las cisternas criogénicas, debido a que el gas sale sobre enfriado y congelaría cualquier líquido que esté en contacto con ellas.

#### **1.4. NITRÓGENO: IDENTIFICACIÓN, CARACTERÍSTICAS Y APLICACIONES**

- Color de ojiva: Negro.
- Símbolo químico: N<sub>2</sub>.
- Aplicaciones: propelente, inertización, limpieza y barrido de líneas, presurización, tratamientos térmicos, bebidas no carbonatadas, congelación y conservación de alimentos, desvirado de hule.
- Características: no tóxico, incoloro, inodoro, más ligero que el aire, no inflamable, desplaza al oxígeno, inerte.
- Recomendaciones: puede producir quemaduras. Se debe utilizar un equipo especial para la manipulación de gases criogénicos, guantes, petos, caretas, etc. Úsese en áreas ventiladas debido que estos gases desplazan el oxígeno y podrían producir asfixia.

#### **1.5. FACTORES DE RIESGO EN MANEJO DE GASES**

Los gases poseen diferentes características y propiedades, por lo tanto los envases, equipos, normas de transporte y uso también son diferentes para cada cual. El primer factor de seguridad es conocer con qué gas se está trabajando, evitando errores de identificación.

- No se deben utilizar identificados inadecuadamente (Color, marcas, etiquetas), ni equipos que no estén acondicionados de manera específica para el gas correspondiente (válvulas, reguladores, etc.)
- No permitir que los cilindros se contaminen. Para esto se debe dejar siempre un saldo de presión en los cilindros y las válvulas cerradas.
- En caso de mezclar gases, se debe conocer su compatibilidad, o si la mezcla es accidental, se debe tener presente que la mezcla de dos gases puede ser peligrosa, y controlar de inmediato el escape u otra causa de mezcla.

- No se deben realizar mezclas de gases sin el equipo adecuado o sin saber las propiedades de la mezcla, que pueden ser muy diferente a las de los gases del componente.
- Si un cilindro pierde su etiqueta, debe ser devuelto al distribuidor, indicando lo sucedido o marcando el cilindro como no identificado.
- Para cada gas, conocer y aplicar precauciones específicas cuanto a forma de uso. Presión de trabajo, temperatura ambiental, almacenamiento y transporte.
- No confundir cilindros vacíos con cilindros cargados. Conectar un cilindro vacío a un sistema presurizado puede ocasionar graves daños.

### 1.5.1 Riesgos principales en la manipulación de gases criogénicos

#### **RIESGOS PARA LA SALUD**

Por sus bajas temperaturas, al entrar en contacto con el líquido o incluso con el vapor, los gases criogénicos pueden provocar graves quemaduras en el tejido de la piel.

La formación de una nube a partir de un gas criogénico siempre constituye un riesgo, dado que la densidad del vapor será mayor que la del aire debido a que la temperatura es en extremo baja, lo que provocará el desplazamiento del aire atmosférico y, por consiguiente, la reducción de la concentración del oxígeno en el ambiente.

#### **EFFECTOS SOBRE OTROS MATERIALES**

Este punto tiene relación con la capacidad de los gases criogénicos para solidificar o condensar otros gases. La temperatura de solidificación del agua es de 0°C a presión atmosférica, por lo tanto, el agua presente en la humedad atmosférica podría congelarse, y si esto ocurre cerca de una válvula (que puede pertenecer al mismo tanque con fugas), será más difícil realizar maniobras.

Por consiguiente, jamás se debe arrojar agua directamente sobre un sistema de escape o sobre válvulas de un tanque criogénico ni en su interior, ya que el agua actuará como un objeto sobrecalentado (a 15 o 20°C), formará vapores y, por lo tanto, aumentará la presión interna del tanque.

#### **INTENSIFICACIÓN DE LOS RIESGOS EN ESTADO GASEOSO**

Adicionalmente a los riesgos propios del estado gaseoso, vistos anteriormente, la fuga de un gas criogénico podría intensificar tales riesgos. Por ejemplo, la fuga de oxígeno licuado aumentará la concentración de este producto en el ambiente, lo que podría causar la ignición de ciertos materiales orgánicos. Por este motivo no se recomienda el uso de ropas de nylon para su manipulación, por el contrario, se deben utilizar

vestimentas de algodón. Si la concentración del oxígeno se eleva en un 3%, provocará un aumento del 100% en la tasa de combustión de un producto. El hidrógeno, en su caso, puede impregnarse en materiales porosos y hacerlos inflamables en condiciones normales.

### **ALTA TASA DE EVAPORACIÓN**

Los gases criogénicos, al entrar en contacto con la atmósfera, tienden a expandirse y aumentar su volumen gaseoso muy por encima del del líquido.

Para el caso del nitrógeno líquido, un litro del producto genera 697 litros de gas, mientras que para el oxígeno la proporción es de 863 veces. Por esta razón, los recipientes que contienen gases criogénicos jamás se podrán calentar ya que corren el riesgo de generar una sobre presurización en el interior del tanque, debido a que es probable que los sistemas de alivio no soporten la alta demanda de vapores. Esto podría conllevar a una ruptura del estanque.

En el caso de existir una fuga de gas criogénico, la nube generada será fría, invisible (existe una parte visible, pero esta no indica la extensión total de la nube) y tenderá a acumularse sobre el suelo, esto último debido a que, por las bajas temperaturas, la densidad del gas será mayor que la del aire.

A continuación, recomendaciones para considerar cuando se trabaja con gases criogénicos:

- Trabajar en áreas libres de derrame.
- No entrar en la nube, y si se debe hacer, usar ropas herméticas.
- Evacuar áreas grandes (600m) alrededor de un tanque criogénico en llamas.
- En caso de quemaduras, lavar zona con agua tibia, aflojar las ropas de la víctima y llevarla a un hospital.
- Intentar detener fugas sólo si se tiene el conocimiento al respecto, de no ser así, contactar a personal técnico especializado.

### **1.6. TERMOS CRIOGÉNICOS**

Son envases portátiles para líquidos criogénicos, fabricados de doble pared con aislamiento de alto vacío y que se utilizan para la distribución de Argón, Oxígeno y Nitrógeno en estado líquido.

#### 1.6.1. Características de los termos criogénicos

La estructura interna es de acero inoxidable y la exterior puede ser de acero al carbono o de acero inoxidable. Su aislamiento de alto vacío evita la transferencia de calor, permitiendo mantener las bajas temperaturas requeridas. Posee una configuración interna de dispositivos que permiten mantener la presión dentro de los rangos establecidos, vaporizando líquido cuando la presión baja y expulsando gas cuando la presión se eleva. Puede suministrar su contenido en estado líquido como gaseoso, abriendo en cada caso la válvula correspondiente.

El rango normal de presiones de trabajo es de 29 a 200 psi y permiten suministrar gas en forma estable con un flujo continuo de hasta 325 pies<sup>3</sup>/h. Cuando es necesario un flujo mayor, se utiliza un vaporizador externo que permite alcanzar flujos estables superiores a 505pies<sup>3</sup>/h.

La presión estándar de trabajo a la que están regulados los termos es de 125 psi, y en lo que respecta a sistema de seguridad, la válvula de alivio para uso de gas está regulada a 230 psi. Disco estallante del envase interior 380 psi.

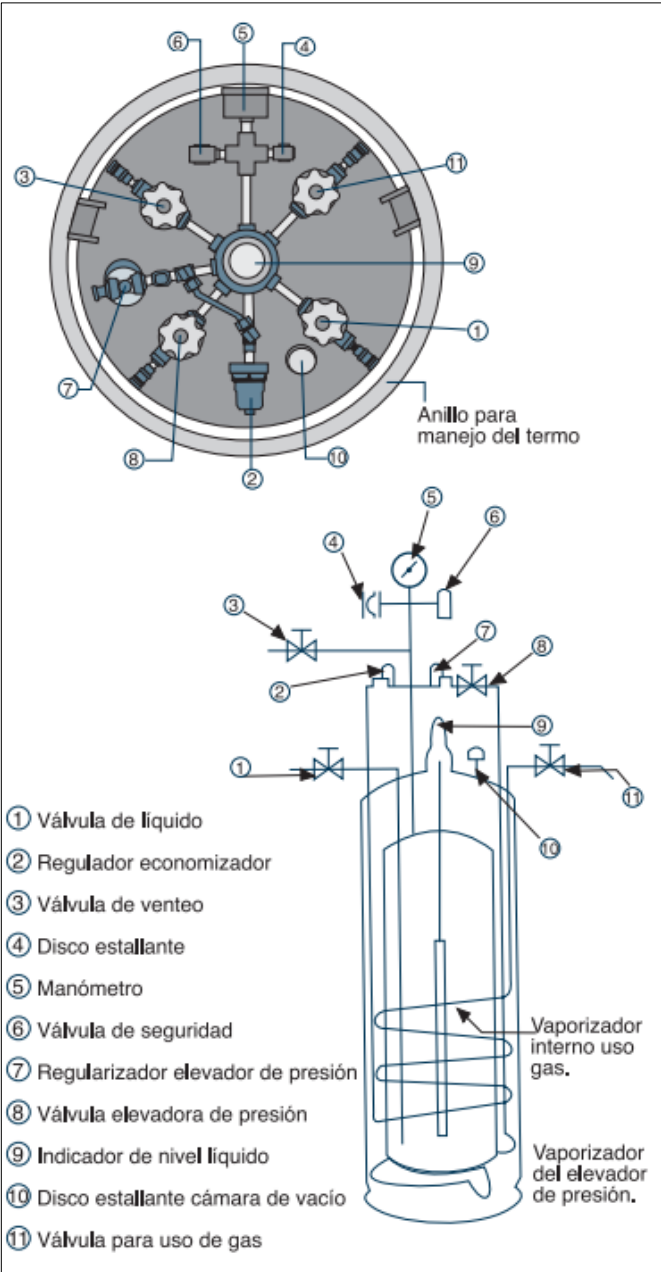


Figura 1-3: Estructura cilindro criogénico. Fuente: Plataforma web Google imágenes.

1.6.2 Ventajas del termo criogénico

- Ahorro de tiempo: se evita recambio repetido de cilindros.
- Ahorro de espacio: Un termo de Oxígeno ocupa menos espacio que 22 cilindros que contienen el mismo volumen de gas.
- Ahorro de gas: Los termos se vacían casi completamente, por lo que queda menos gas residual.

**CAPÍTULO 2:**  
**ESTUDIO Y ANÁLISIS DE PROCEDIMEINTO ACTUAL DE TRABAJO**

---

2. ESTUDIO Y ANÁLISIS DE PROCEDIMEINTO ACTUAL DE TRABAJO

2.1. OBJETIVO DE TALLER

Reparación, re manufactura y /o fabricación de equipos, garantizando un estándar técnico de reparación, testeo de equipo intervenido y registro de trabajos a talleres externos.

Los controles que deben ser considerados durante esta etapa en la operación están dados de la siguiente forma:

| Variable de control                             | Forma de control                | Responsables              |
|-------------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------|
| Realización de las tareas de evaluación         | Hoja de ruta electrónica        | Jefe de taller            |
| Tiempo de ejecución en las tareas FR            | Revisión del programa de taller |                           |
| Cumplimiento de las especificaciones de trabajo | Revisión check list de trabajos |                           |
| Stock de repuestos necesarios                   | Revisión de stock de bodega     | Subgerente de suministros |

1 Tabla 2-1.Controles internos en proceso de armado. Fuente: SGI Documentos Empresa Komatsu Reman Center.

Los registros obtenidos en el transcurso del proceso: Hoja de ruta, programa de taller e informe técnico.

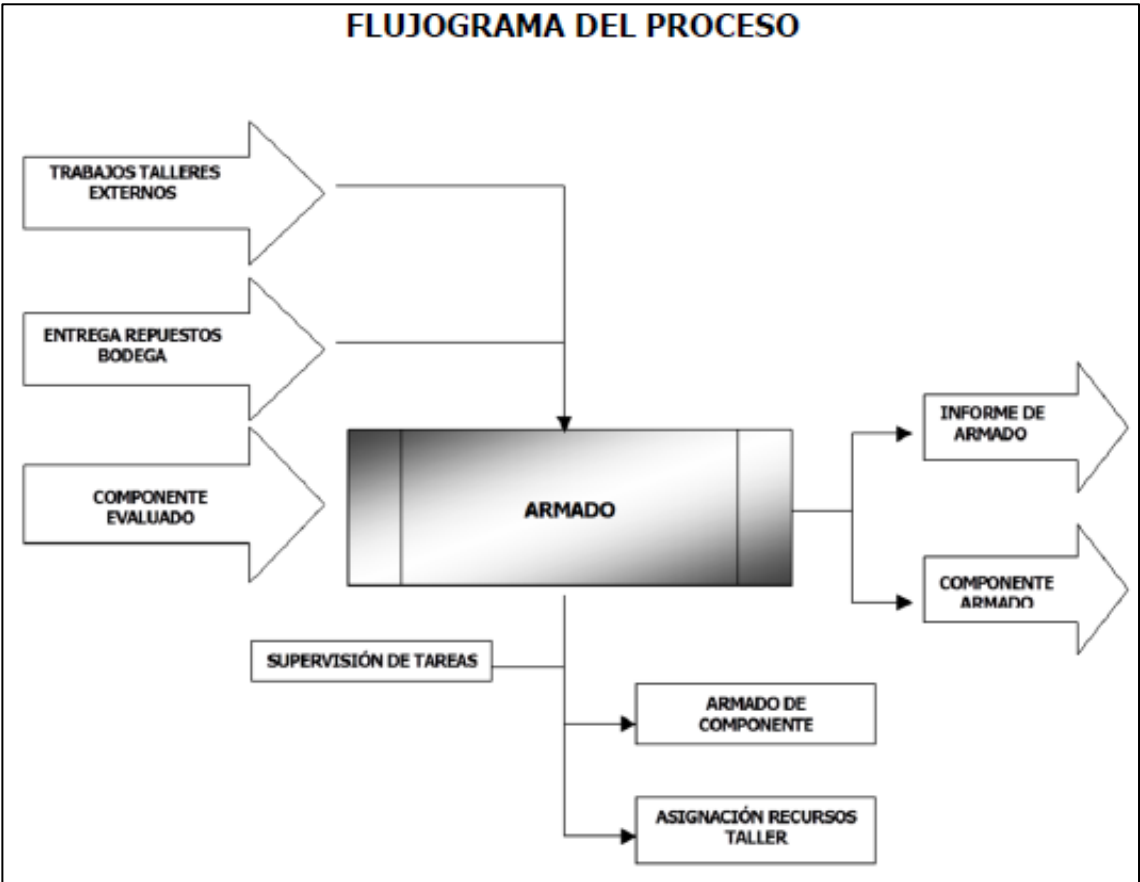


Figura 2-1. Flujograma etapa de ensamble de componentes. Fuente: SGI documentos Empresa Komatsu Reman Center.

Se hace mención a la etapa de armado de componentes y equipos porque es en esta fase del proceso productivo en la que se utiliza el recurso del nitrógeno líquido para enfriamiento de piezas y montaje por contracción.

En cada procedimiento disponible para la intervención de los diferentes equipos que ingresa a taller, está especificado el uso de Nitrógeno para ensamble de piezas, sin embargo, esta mención es deficiente, debido a que no existe un procedimiento que indique el correcto uso del recurso y tampoco otorga ninguna información técnica en relacionada con variables de tiempo y dimensiones que cada pieza debe alcanzar para encajar en su alojamiento.

Ejemplo de instrucción de montaje de piezas con nitrógeno en procedimiento vigente:

15. Proceda a realizar instalación de rotulas en los alojamientos del vástago y la carcasa, Ver Figuras 25 y 26.

PRECUACION: Contraiga las rótulas con Nitrógeno líquido, evite golpearlas. Tenga la precaución de usar los guantes criogénicos, apropiados para bajas temperaturas.





Figura N° 25

Figura N° 26

Figura 2-2. Procedimiento de montaje por contracción cilindro de dirección 930E.

Fuente: Sistema RESO Intranet Empresa Komatsu Reman Center.

Este es un ejemplo de lo que aparece generalizado en todos los procedimientos que tienen como tarea el usar el recurso de nitrógeno líquido para contraer piezas para ensamble. Uno de los objetivos de este análisis es determinar cuál es la mejor alternativa de uso del recurso para optimizar su utilización, con un estudio que permitirá establecer una relación tiempo – dimensión para estandarizar las diferentes contracciones de aceros dependiendo de donde requieran ser montados, además de verificar el estado de los receptáculos actuales y disponibles para realizar esta tarea, vale decir, determinar si estos recipientes son los óptimos para lograr el objetivo buscado.

## **2.2. APLICACIÓN DE PROCEDIMIENTO NITRÓGENO LÍQUIDO**

Para efectuar trabajos con nitrógeno líquido, se cuenta con un kit de uso que incluye los elementos de protección personal, receptáculos de depósito de nitrógeno líquido, donde también se sumergen las piezas, y el termo que contiene el recurso. En una ejecución cotidiana de esta tarea se delimita el área de trabajo y se procede en primera instancia con la apertura de la válvula que suministra el nitrógeno en su estado líquido (Esto con los elementos de protección personal propicios para la manipulación).

De acuerdo al tamaño del acero a contraer se deposita la cantidad necesaria de líquido para cubrir completamente la pieza. El tiempo de sumersión está definido a cuando el líquido, luego de entrar en contacto con la pieza, deja de ebulir. Esto puede tardar más o menos tiempo dependiendo de la masa del objeto a contraer y su temperatura previa a la sumersión.

Luego de que el líquido deja de ebulir, se procede con el retiro de la pieza desde el recipiente para su montaje.

Este ha sido el procedimiento de montaje de piezas por contracción por años, cumpliendo con el objetivo de ensamble, sin embargo, nunca se ha establecido un procedimiento técnico de trabajo, respaldado con relación de variables, que permita obtener una mayor optimización del recurso del nitrógeno líquido. Hace más de 5 años que se utilizan los mismos recipientes para recepcionar el nitrógeno, en mal estado, con problemas de diseño y fugas por lugares en los que no debería haber escape de nitrógeno cuando se está trasvasiando el líquido desde el interior del termo.

**2.3. KIT DE USO NITRÓGENO LÍQUIDO**

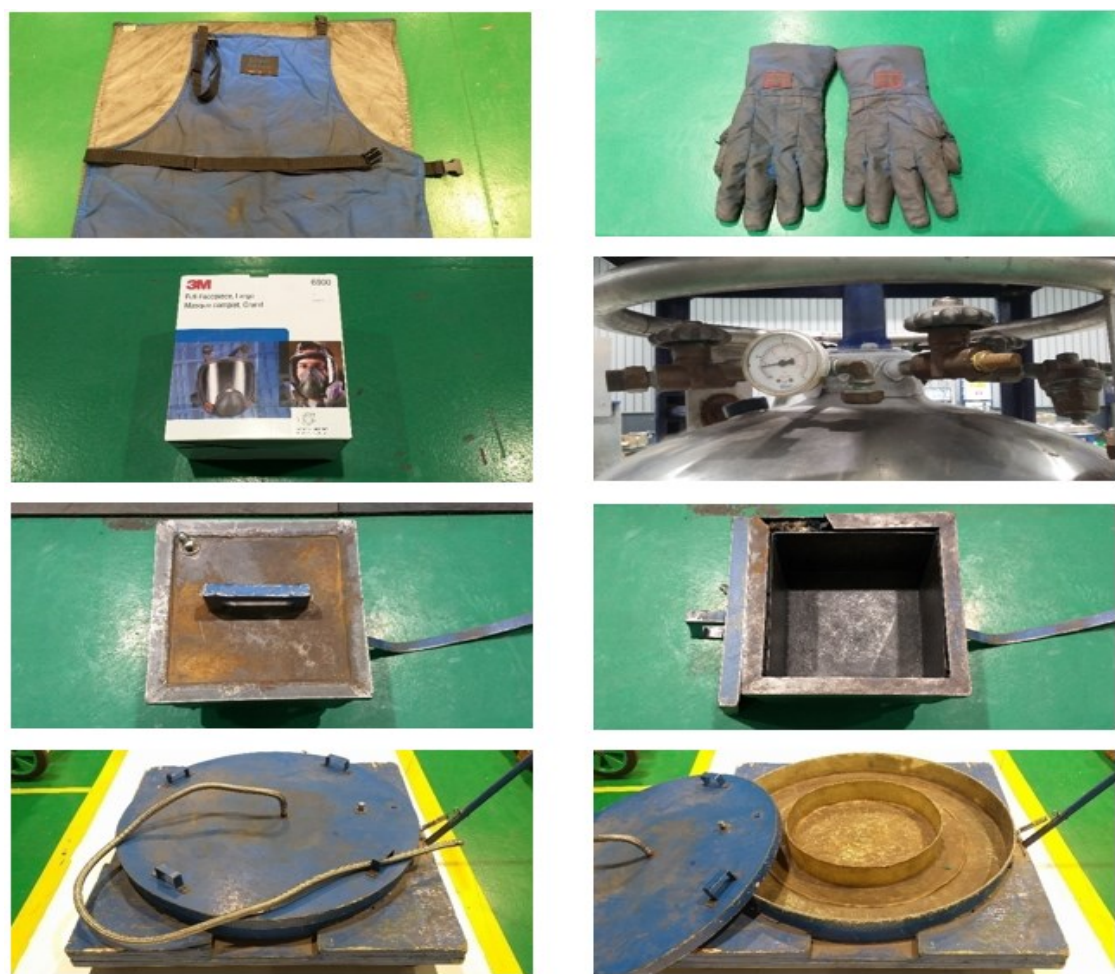


Figura 2-3. Imágenes kit de nitrógeno utilizado para montaje de piezas por contracción. Fuente:  
Elaboración propia en Empresa Komatsu Reman Center.

**2.4. ANÁLISIS CAUSA RAÍZ – ISHIKAWA**

Para comenzar el análisis causa raíz Ishikawa de este proyecto, se plantea como problemática el “mal uso del recurso nitrógeno líquido”, respaldado en que al no existir un procedimiento técnico de trabajo en relación a las variables de tiempo y dimensión, el uso indiscriminado de este recurso no está permitiendo generar un control sobre el

mismo, teniendo pérdidas durante el proceso y desconociendo los tiempos reales de ejecución de las tareas. Por esta razón y por temas de diseños deficientes, es que se produce una inversión excesiva mensual en termos de nitrógeno, impidiendo la optimización del recurso.

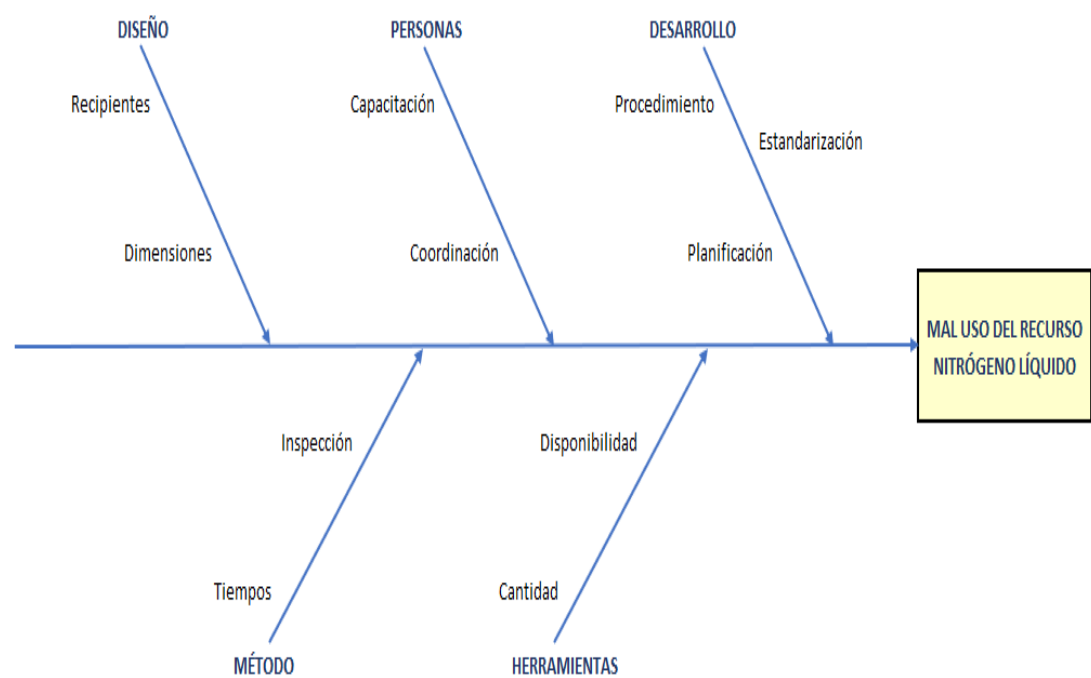


Figura 2-4. Esquema Ishikawa Análisis Causa Raíz de la problemática. Fuente: Elaboración propia.

2.4.1. Causas definidas

DISEÑO

- Recipientes de acumulación de nitrógeno líquido no estandarizados.
- Dimensiones no con coinciden con las de los aceros a enfriar.

## PERSONAS

- Capacitación en cuanto a aplicación de la tarea montaje de piezas por contracción.
- Coordinación entre líneas de operación, supervisión y planificación.

## DESARROLLO

- Procedimiento para ensamble de piezas por contracción.
- Planificación de tareas relacionadas en etapa de armado.
- Estandarización de información técnica.

## MÉTODO

- Inspección periódica de equipos e insumos.
- Tiempos de duración de tarea dependiendo de tipo de pieza a enfriar.

## HERRAMIENTAS

- Disponibilidad de termos disponibles.
- Cantidad de recipientes según demanda en la línea de producción.

### 2.4.2. Criterios de evaluación de las causas

A continuación, una lista de preguntas a las se intentará dar respuesta considerando cada una de las causas propuestas. De esta forma se pretende determinar la relevancia de ellas en el proyecto de optimización del recurso de nitrógeno líquido.

1. ¿Es un factor?
2. ¿Causa directa?
3. ¿Solución directa?

4. ¿Solución factible?
5. ¿Es medible?
6. ¿Bajo costo?

La escala de calificación establecida para evaluar la importancia de las cusas, respondiendo a las preguntas anteriores, estará determinada por puntuaciones entre valores 1, 2 y 3 asociados a las siguientes características:

- 3 = Muy relevante
- 2 = Relevancia media
- 1 = Menos relevante

2.4.3. Resultados por escala de clasificación

| CAUSAS                                                                                   | SOLUCIONES                                                                                      | CRITERIOS |       |          |          |         |      | TOTALES |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-------|----------|----------|---------|------|---------|
| DISEÑO                                                                                   |                                                                                                 | FACTOR    | CAUSA | SOLUCIÓN | FACTIBLE | MEDIBLE | BAJO |         |
| · Recipientes de acumulación de nitrógeno líquido no estandarizados.                     | Estandarizar soportes en base a material de diseño.                                             | 3         | 3     | 2        | 3        | 1       | 3    | 15      |
| · Dimensiones no coinciden con las de los aceros a enfriar.                              | Rediseñar recipientes en de acuerdo a las dimensiones de los aceros a enfriar.                  | 3         | 3     | 3        | 3        | 3       | 3    | 18      |
| PERSONAS                                                                                 | SOLUCIÓN                                                                                        | FACTOR    | CAUSA | SOLUCIÓN | FACTIBLE | MEDIBLE | BAJO |         |
| · Capacitación en cuanto a aplicación de la tarea instalación de piezas por contracción. | Entrenar al personal según estándar de uso del recurso nitrógeno líquido. (Por definir).        | 2         | 2     | 1        | 3        | 2       | 1    | 11      |
| · Coordinación entre líneas de operación, supervisión y planificación.                   | Establecer instancias de retroalimentación constante sobre temas relacionados.                  | 2         | 1     | 1        | 2        | 1       | 3    | 10      |
| DESARROLLO                                                                               | SOLUCIÓN                                                                                        | FACTOR    | CAUSA | SOLUCIÓN | FACTIBLE | MEDIBLE | BAJO |         |
| · Procedimiento para ensamble de piezas por contracción.                                 | Desarrollar procedimiento de trabajo ensamble de piezas por contracción.                        | 3         | 3     | 2        | 3        | 1       | 3    | 15      |
| · Planificación de tareas relacionadas en etapa de armado.                               | Planificar según el estándar técnico a definir.                                                 | 3         | 3     | 3        | 3        | 2       | 3    | 17      |
| · Estandarización de información técnica.                                                | Incluir estándar técnico en procedimiento de trabajo (por definir).                             | 3         | 3     | 3        | 3        | 3       | 3    | 18      |
| MÉTODO                                                                                   | SOLUCIÓN                                                                                        | FACTOR    | CAUSA | SOLUCIÓN | FACTIBLE | MEDIBLE | BAJO |         |
| · Inspección periódica de equipos e insumos.                                             | Inspeccionar semanalmente estado de equipos e insumos.                                          | 1         | 1     | 1        | 2        | 3       | 3    | 11      |
| · Tiempos de duración de tarea dependiendo de tipo de pieza a enfriar.                   | Establecer parámetros de tiempo según contracción de cada pieza sumergida en nitrógeno líquido. | 3         | 3     | 3        | 3        | 3       | 1    | 16      |
| HERRAMIENTAS                                                                             | SOLUCIÓN                                                                                        | FACTOR    | CAUSA | SOLUCIÓN | FACTIBLE | MEDIBLE | BAJO |         |
| · Disponibilidad de termos en stock.                                                     | Diseñar cartilla de control en disponibilidad de termos.                                        | 2         | 1     | 1        | 2        | 3       | 3    | 12      |
| · Cantidad de recipientes según demanda en la línea de producción.                       | Estudiar demanda mensual y fabricar recipientes para cubrir la necesidad.                       | 2         | 1     | 1        | 2        | 3       | 2    | 11      |

Figura 2-5. Importancia de las causas según su incidencia en la problemática Fuente: Elaboración propia.

Una vez analizados los resultados según las diferentes causas posibles del problema de “mal uso del recurso de nitrógeno líquido”, alusivas a cada ramal de Ishikawa, se obtiene que las dos causas más importantes de este cuadro de análisis, por obtener mayoría son: “Estandarización de información técnica” y “Rediseñar recipientes de acuerdo a las dimensiones de aceros a enfriar” (Ambas con Total 18 en los resultados). Sobre estas dos últimas causas se pondrá el foco en el inicio del desarrollo de este

proyecto, considerando que el respaldo técnico relacionado al montaje de piezas por contracción, no existe en el sistema de gestión integrado.

En lo que respecta al resto de las causas, ellas no pierden relevancia por obtener un menor resultado, es más, son igual de importantes considerando que todas poseen algún tipo de incidencia en razón de por qué se quiere realizar esta mejora, por ejemplo, la causa “Planificación de tareas relacionadas en etapa de armado” (con Total 17), hace referencia a los tiempos de planificación destinados a las diferentes tareas de enfriamiento de piezas, que actualmente no está siendo controlado en los procesos. La respuesta a este punto bajo, se obtendrá a partir del trabajo en las dos causas anteriores, debido que si se logra establecer un estándar técnico en relación de variables dimensión – tiempo, sumado al recipiente adecuado para la contracción según la pieza, se podrán acotar los tiempos de reparación y se obtendrá una optimización del recurso nitrógeno líquido dependiendo qué tipo de componente se requiere ensamblar. Por lo planteado anteriormente, todas las causas estarán siendo cubiertas durante el desarrollo del estudio.

Como se ha planteado en diferentes oportunidades durante el desarrollo y estudio de la problemática, actualmente no existe un respaldo técnico para el montaje de piezas por contracción, y se está utilizando el recurso para enfriar piezas de manera descontrolada y desinformada. Indagando un poco, se ha podido comprobar que algunos procedimientos de ensamble recomiendan no enfriar las piezas un tiempo demasiado extenso, debido a que la exposición prolongada de los aceros u otros materiales a temperaturas extremas (-196°C), podrían dañar seriamente sus propiedades estructurales.

6. PROCEDIMIENTO

6.1. Instalación de cubetas (pistas de rodamiento) en cubo de rueda. Ver Figuras 1.1 y 1.2.

a. Verifique los diámetros interiores antes de instalar cubetas.

b. Enfríe las cubetas en nitrógeno líquido para contraerlas.

c. Instale las cubetas en el cubo de rueda.

d. Con feeler y maceta de plástico, asegúrese del total y uniforme asentamiento de las cubetas.

NOTA: Fábrica indica no enfriar las cubetas a menos de -54°C, instalarlas, esperar a que adquieran temperatura ambiente y presionar las cubetas con prensa hidráulica a 23 ton para cubeta exterior (Ver Figura 1.1) y 21 ton para cubeta interior (Ver Figura 1.2). KRCC no ha tenido problemas utilizando nitrógeno líquido para la instalación de cubetas.

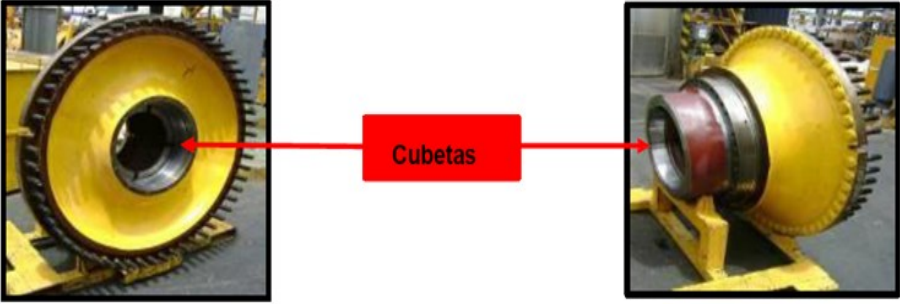


Figura 2-6. Procedimiento de montaje por contracción cilindro de dirección 930E. Fuente: Sistema RESO Intranet Empresa Komatsu Reman Center.

Hasta el presente, no han habido problemas relacionados a fallas de estructuras en los componentes enfriados para montaje, pero esto no descarta la posibilidad de que puedan sucederse, debido a que el desempeño de los equipos varía en el tiempo según la exigencia a la que están expuestos en los diferentes ambientes en los que operan, condiciones de temperaturas, efectos climáticos, sobre carga de trabajo dependiendo de la demanda y disponibilidad de flota, y otros factores que propician un fallo prematuro o destructivo en los equipos.

En relación a lo anterior, cuando la resistencia de los metales al impacto es baja y estos son expuestos a bajas temperaturas, podrían fallar por aumento en su condición de fragilidad. Generalmente cuando la tensión de fluencia se eleva, la tenacidad en los aceros disminuye. La teoría metalúrgica indica que cuanto más elevado es la tensión de fluencia, menor es la resistencia de los materiales.

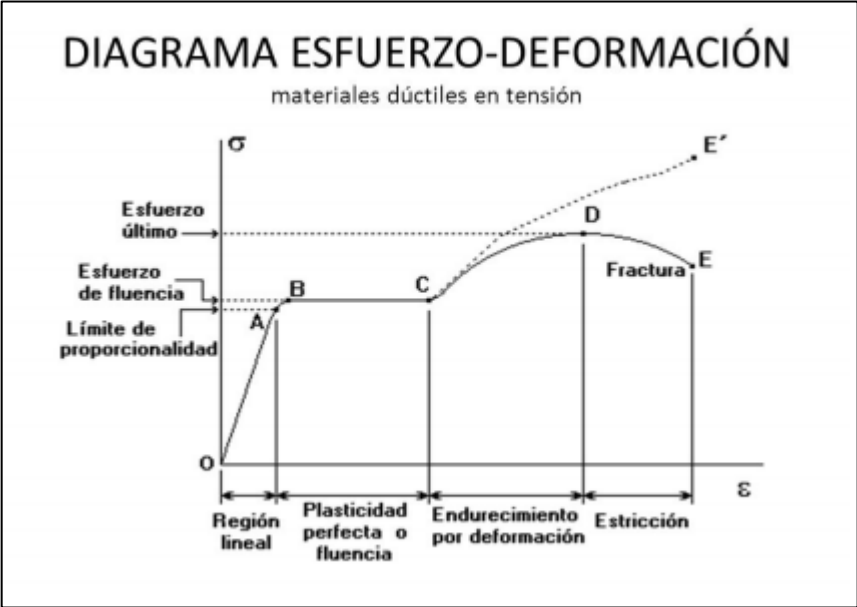


Figura 2-7. Gráfico esfuerzo deformación de los materiales. Fuente: Plataforma web google imágenes.

2.5. EXIGENCIA NORMA OHSAS 18001

Todos los estándares o procedimientos bajo los que las empresas operan actualmente, están regulados por un conjunto de normas, de carácter voluntario, y que poseen un gran reconocimiento y aceptación entre las compañías a nivel internacional. Son estas normas las que exigen a las diferentes entidades, cumplir con respaldo documentativo de sus diferentes procesos.

Para el caso de la empresa en estudio, ésta se rige bajo las normas ISO 14001 (Sistema de gestión ambiental), ISO 9001 (Sistema de gestión de la calidad) y OHSAS 18001 (Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo)

La norma OHSAS 18001 es la que tiene relación directa con el procedimiento en evaluación, ya que hace referencia al sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo, tema ligado directamente al montaje de piezas mecánicas por criogenia. Actualmente, la empresa cuenta con un procedimiento “Instructivo de seguridad” sobre el uso adecuado de equipos criogénicos, con el que cumple con la exigencia que la norma le exige, y que solicita que respalde todos los procesos que participan dentro de sus procedimientos administrativos y productivos. Si bien la norma no exige a la compañía

tener publicados dichos documentos, estos se encuentran disponibles en el sistema de gestión integrado.

YO LO HAGO SEGURO

INS-SSO-008

INSTRUCTIVO DE SEGURIDAD

Uso Adecuado de Equipos Criogénicos

| EVALUACION DE RIESGOS    |                                                                     |                             |                                                                                                                                                                   |
|--------------------------|---------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| TAREA                    | PELIGRO                                                             | RIESGO                      | CONTROLES EXISTENTES                                                                                                                                              |
| Uso de nitrógeno líquido | -Quemaduras<br>-Lesiones musculares<br>-Fragilización de materiales | Contacto con el gas licuado | <br>-Cursos y capacitaciones para su manipulación<br>-Uso de EPP para altas T° |

**Definición:** El nitrógeno líquido es un gas licuado a temperatura criogénica **-196°C**, incoloro e inodoro.



**Principales Riesgos:**

**Quemaduras:** por frío o congelación por contacto directo con Nitrógeno Líquido. Estas quemaduras también se pueden producir por contacto con equipos, canalizaciones, etc., en los que es corriente que se forme hielo.

**Asfixia:** en altas concentraciones por desplazamiento del aire. En caso de derrame, la sustancia se evapora rápidamente formando una nube con insuficiencia de oxígeno, que puede causar asfixia rápida

**Lesiones pulmonares:** al respirar gas muy frío procedente de la vaporización del gas licuado.

**Fragilización de materiales:** dando lugar a la aparición de grietas en chapas, estructuras, etc., con el peligro de rotura o desmoronamiento.





Manipulación y transporte

Antes de manejar cualquier producto químico lea siempre la ficha de seguridad específica facilitada por el fabricante.

El transporte y la manipulación del líquido se realizará de manera que se evite toda salpicadura.

1. En primer lugar, se deberá examinar posibles defectos en los termos
2. Asegurar una ventilación adecuada, en especial si trabaja en lugares confinados.
3. Se deberán emplear únicamente equipos específicamente aprobados para el uso con nitrógeno líquido.
4. Abrir las válvulas lentamente y cerrarlas cuando no utilice el producto.
5. Utilizar siempre carros para su transporte.
6. Tapar siempre los recipientes para evitar los derrames.
7. No transportar en caso de lluvia.
8. Segregue su área de trabajo cuando trabaje con nitrógeno líquido.
9. Al finalizar debe almacenar el termo nitrógeno en su respectiva bodega,

Restricciones:

Solo podrá hacer uso del nitrógeno líquido personal autorizado y con curso de manipulación aprobado.

Equipos de protección personal:

- Guantes criogénicos
- Coletó (delantal criogénico)
- Careta facial
- Overol
- Calzado de seguridad

Figura 2-8. Procedimiento de montaje por contracción cilindro de dirección 930E. Fuente: SGI documentos Empresa Komatsu Reman Center.

El “Instructivo de seguridad” es el único procedimiento disponible en relación al uso y manipulación del nitrógeno líquido. Esto deja en evidencia lo que se ha planteado en los análisis anteriores referentes a la ausencia de un procedimiento técnico sobre el montaje de piezas mecánicas por criogenia, que permitan mejorar los tiempos de reparación y respaldar técnicamente los procesos.

**CAPITULO 3: MEDICIÓN DE PARAMETROS Y ANALISIS DE RESULTADOS**

---

### **3. MEDICIÓN DE PARÁMETROS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

#### **3.1. MEDICIÓN DE PARÁMETROS**

Para efectos del estudio, son varias las alternativas que se pueden considerar en la obtención de parámetros, sin embargo, se consideraran para este caso dos variables: tiempo y dimensión. Del total de piezas que someten a enfriamiento por criogenia, se generó una lista dividida por tipo de componentes: pasadores, cubetas, rótulas, bujes y ejes. La idea principal de es determinar el tiempo de sumergido mínimo requerido para que cada pieza sea montada en su alojamiento, sin desperdiciar el recurso del nitrógeno, y aprovechando a su vez, en otras piezas el sobrante del recipiente. Mediante la planificación con un respaldo técnico de dimensión y tiempo, se logrará aumentar la eficiencia de trabajo y a su vez se lograrán optimizar costos mensuales de producción.

Las mediciones fueron tomadas en el taller hidráulico y electromecánico de la empresa, utilizando los recursos disponibles y que actualmente se emplean en la tarea de contracción de piezas. Con respaldo de procedimientos técnicos y mediciones de diámetros se establece, en primer lugar, el ajuste de interferencia que cada pieza debe alcanzar posterior a su montaje, este dato es sumamente importante debido a que a través de él se logra definir la contracción mínima necesaria para el ajuste de cada pieza en su alojamiento. Posteriormente se procede a determinar los valores de contracción máxima a máximo tiempo sumergido, que es la forma en la que se está trabajando actualmente (7 min. para todas las piezas). Luego se establecieron 2 listas de mediciones a 3 min. y 1 min. respectivamente y se compararon las diferentes contracciones para cada lapso de tiempo y pieza con el ajuste de interferencia obtenido al inicio. De estas relaciones se obtiene el tiempo de sumersión necesario para que cada pieza sea montada sin prolongar su exposición en el nitrógeno líquido de manera innecesaria.

| Piezas a ensamblar por<br>contracción                    | Contracción<br>máxima a<br>máximo<br>tiempo<br>sumergido 7<br>min. (mm) | Contracción<br>tiempo<br>sumergido 3<br>min. (mm) | Contracción<br>tiempo<br>sumergido 1<br>min. (mm) | Ajuste de<br>interferencia<br>(mm) |
|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------|------------------------------------|
| Pasadores carrier de alta<br>motores de tracción<br>930E | 0,23                                                                    | 0,22                                              | 0,08                                              | 0 (± 0,0005)                       |
| Pasadores carrier de baja<br>motores de tracción<br>930E | 0,23                                                                    | 0,22                                              | 0,08                                              | 0 (± 0,0005)                       |
| Bushing motores de<br>tracción P7                        | 0,08                                                                    | 0,05                                              | 0,00                                              | 0,03 (+ 0,02)                      |
| Bushing motores de<br>tracción P8                        | 0,08                                                                    | 0,05                                              | 0,00                                              | 0,03 (+ 0,02)                      |
| Cubetas de rodamiento<br>masas delanteras 830E           | 1,09                                                                    | 0,70                                              | 0,39                                              | 0,25 (± 0,02)                      |
| Cubetas de rodamiento<br>masas delanteras 930E           | 1,09                                                                    | 0,70                                              | 0,42                                              | 0,28 (± 0,02)                      |
| Cubetas de rodamiento<br>motores de tracción<br>830E     | 0,90                                                                    | 0,60                                              | 0,37                                              | 0,26 (± 0,02)                      |
| Cubetas de rodamiento<br>motores de tracción<br>930E     | 0,50                                                                    | 0,40                                              | 0,35                                              | 0,28 (± 0,02)                      |
| Rótulas cilindros de<br>dirección 830E                   | 0,10                                                                    | 0,08                                              | 0,06                                              | 0,07(± 0,02)                       |
| Rótulas cilindros de<br>dirección 930E                   | 0,10                                                                    | 0,08                                              | 0,06                                              | 0,07 (± 0,02)                      |
| Rótulas suspensiones<br>traseras 830E                    | 0,38                                                                    | 0,30                                              | 0,20                                              | 0,28 (± 0,02)                      |
| Rótulas suspensiones<br>traseras 930E                    | 0,42                                                                    | 0,32                                              | 0,21                                              | 0,28 (± 0,02)                      |
| Ejes damper motor<br>diésel                              | 0,08                                                                    | 0,06                                              | 0,02                                              | 0,07 (± 0,01)                      |

Tabla 3-1. Tiempos de sumersión para cada pieza según ajuste de interferencia. Fuente: Elaboración propia en Empresa Komatsu Reman Center

Los valores de contracción en cada pieza están determinados por varios factores, entre ellos temperatura, tipo de material, volumen de material, estructura molecular. Los componentes que poseen un mayor volumen con menor masa tienden a obtener como resultado una contracción mayor que los que presentan una condición inversa. Esto fue posible comprobarlo a través de los resultados obtenidos en las mediciones. La contracción en los metales está dentro del 1 o 2 por ciento de su volumen dependiendo del espesor de pared.

La tabla obtenida sobre los resultados de tiempos para cada componente es:

| Piezas a ensamblar por contracción                 | Tiempo óptimo según pieza a contraer (min.) |
|----------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Pasadores carrier de alta motores de tracción 830E | 1                                           |
| Pasadores carrier de baja motores de tracción 930E | 1                                           |
| Bushing motores de tracción P7                     | 7                                           |
| Bushing motores de tracción P8                     | 7                                           |
| Cubetas de rodamiento masas delanteras 830E        | 1                                           |
| Cubetas de rodamiento masas delanteras 930E        | 1                                           |
| Cubetas de rodamiento motores de tracción 830E     | 1                                           |
| Cubetas de rodamiento motores de tracción 930E     | 1                                           |
| Bujes de bronce cilindros KMG PC4000               | 7                                           |
| Bujes de bronce cilindros KMG PC8000               | 7                                           |
| Rótulas cilindros de dirección 830E                | 3                                           |
| Rótulas cilindros de dirección 930E                | 3                                           |
| Rótulas suspensiones traseras 830E                 | 3                                           |
| Rótulas suspensiones traseras 930E                 | 3                                           |
| Ejes dámper motor diésel                           | 7                                           |

Tabla 3-2. Tabla de tiempos óptimos de sumersión para cada pieza según contracción. Fuente: Elaboración propia en Empresa Komatsu Reman Center.

Una vez obtenidos los tiempos de sumersión de cada pieza, para todos los ajustes de interferencia expuestos, se realizó una tabla indicando que componentes y en qué número pueden ser enfriados con un termo de nitrógeno líquido de 185 Litros considerando la totalidad promedio de componentes armados mensualmente. Con los datos mencionados más los tiempos de contracción necesarios para el montaje de las diferentes piezas en su alojamiento (obtenidos en la tabla anterior), se estableció un paralelo de tiempos: el invertido actualmente en la contracción de todas las piezas y el nuevo obtenido del análisis de las variables tiempo - contracción.

| Estadístico                                                               | Aplicación                       |
|---------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| 1 Termo de Nitrógeno líquido (185L) Valor por Litro de nitrógeno: \$ 1544 | 8 Cubetas masas                  |
|                                                                           | 6 Cubetas motores                |
|                                                                           | 7 Pasadores motores              |
|                                                                           | 16 bushing motores               |
|                                                                           | 8 rótulas suspensiones traseras  |
|                                                                           | 4 bujes, 2 damper                |
|                                                                           | 12 rótulas cilindro de dirección |

Tabla 3-3. Tabla de rendimiento de termo criogénico según demanda mensual. Fuente: Elaboración propia en Empresa Komatsu Reman Center.

| Piezas a ensamblar por contracción              | Equipos mensual armados | Piezas a enfriar (Equipos armados) | Grupos de piezas a enfriar | *Tiempo actual sumergido (min.) | **Tiempo óptimo sumergido (min.) |
|-------------------------------------------------|-------------------------|------------------------------------|----------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| Cilindros de dirección                          | 12                      | 24 Rótulas                         | 12                         | 84                              | 36                               |
| Suspensiones traseras                           | 7                       | 14 Rótulas                         | 7                          | 49                              | 21                               |
| Damper motor diesel                             | 2                       | 2 Ejes                             | 1                          | 14                              | 14                               |
| Masas delanteras                                | 10                      | 20 Cubetas                         | 1                          | 140                             | 20                               |
| Motores de tracción                             | 7                       | 49 Pasadores                       | 7                          | 49                              | 7                                |
| Motores de tracción                             | 7                       | 112 Bushing                        | 16                         | 49                              | 49                               |
| Motores de tracción                             | 7                       | 14 Cubetas                         | 1                          | 98                              | 14                               |
| Cilindros KMG                                   | 2                       | 4 Bujes                            | 1                          | 28                              | 28                               |
|                                                 |                         |                                    |                            | 511                             | 189                              |
| *Tiempo total de uso nitrógeno líquido mensual  |                         |                                    |                            | 9,18 hrs                        |                                  |
| *Tiempo total de uso nitrógeno líquido anual    |                         |                                    |                            | 110,2 hrs                       |                                  |
| **Tiempo total de uso nitrógeno líquido mensual |                         |                                    |                            | 3,1 hrs                         |                                  |
| **Tiempo total de uso nitrógeno líquido anual   |                         |                                    |                            | 37,8 hrs                        |                                  |

Tabla 3-4. Tabla de análisis tiempo actual v/s tiempo óptimo de sumersión. Fuente: Elaboración propia en Empresa Komatsu Reman Center.

De la tabla anterior se desprende la cantidad total de tiempo invertido proyectado anualmente según condición actual de trabajo. Tomando estos datos más el valor por litro de nitrógeno (indicado por el proveedor, \$1.544/Litro), es posible obtener el valor en pesos de la inversión mensual de cargas de nitrógeno líquido que se deben concretar para cumplir con la demanda actual de trabajo en los talleres hidráulico y electromecánico.

| Cantidad piezas a enfriar mensualmente | Litros de nitrógeno (Tiempo actual sumergido) | Valor cantidad costo |
|----------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------|
| 20 Cubetas masas                       | 462,5                                         | \$714.000            |
| 14 Cubetas motores                     | 462,5                                         | \$714.000            |
| 49 Pasadores motores                   | 1295                                          | \$1.999.480          |
| 112 Bushing motores                    | 1295                                          | \$1.999.480          |
| 24 Rótulas cilindros                   | 370                                           | \$571.280            |
| 14 Rótulas suspensiones traseras       | 277,5                                         | \$428.460            |
| 4 Bujes                                | 123,3                                         | \$190.375            |
| 2 damper                               | 61,66                                         | \$ 95.203            |
| Valor litro de nitrógeno               | \$1.544                                       |                      |
| Valor costo total                      | \$6.617.075                                   |                      |

Tabla 3-5. Inversión actual con tiempo de sumersión vigente. Fuente: Elaboración propia en Empresa Komatsu Reman Center.

Para las mismas piezas considerando los nuevos tiempos de trabajo es posible obtener la tabla anterior pero esta vez con la reducción de costos, consecuencia de los tiempos óptimos de sumersión:

| Cantidad piezas a enfriar mensualmente | Litros de nitrógeno (Tiempo sumergido) óptimo | Valor cantidad costo |
|----------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------|
| 20 Cubetas masas                       | 66,1                                          | \$102.058            |
| 14 Cubetas motores                     | 66.1                                          | \$102.058            |
| 49 Pasadores motores                   | 185                                           | \$285.640            |
| 112 Bushing motores                    | 1295                                          | \$1.999.480          |
| 24 Rótulas cilindros                   | 158,5                                         | \$244.724            |
| 14 Rótulas suspensiones traseras       | 118,9                                         | \$183.581            |
| 4 Bujes                                | 123,3                                         | \$190.375            |
| 2 damper                               | 61,66                                         | \$ 95.203            |
| <b>Valor costo total</b>               |                                               | \$3.203.119          |
| <b>Valor litro de nitrógeno</b>        |                                               | \$1.544              |

Tabla 3-6. Inversión futura con tiempo óptimo de sumersión. Fuente: Elaboración propia en Empresa Komatsu Reman Center.

La idea principal de esta mejora es poder reducir los costos de inversión actuales y tiempos de uso de nitrógeno líquido por montaje respaldándose en información técnica referente al montaje de piezas por criogenia, complementando el instructivo de seguridad y manipulación de nitrógeno líquido publicado en la plataforma de intranet de la compañía.

### 3.2. RESPALDO ESTADÍSTICO

Para respaldar técnicamente los datos indicados en el estudio, se realizó un análisis estadístico sobre el comportamiento (Manipulación y uso) mensual de una cantidad “X” de termos determinados por la fórmula de cálculo de muestra para una población finita. Para este caso en particular, se conoce la población total disponible de termos mensualmente (27), por lo tanto, aplica la fórmula para cálculo de muestra de este tipo de población. Estimando un intervalo de confianza del 95% tenemos:

$$n = \frac{Z^2 * p * q * N}{e^2(N - 1) + Z^2 * p * q}$$

Tabla 3-7. Ecuación de cálculo de muestra para una población finita. Fuente: Elaboración propia en Empresa Komatsu Reman Center.

| Variables | Cantidad | Variable | identificación          |
|-----------|----------|----------|-------------------------|
| n         | x        | n        | Muestra a determinar    |
| N         | 27       | N        | Universo                |
| Z         | 1,96     | Z        | Nivel de confianza      |
| e         | 0,05     | e        | Margen de Error         |
| p         | 0,5      | p        | Probabilidad de éxito   |
| q         | 0,5      | q        | Probabilidad de fracaso |

|             |            |
|-------------|------------|
| Muestra (n) | 25,2884728 |
|-------------|------------|

Tabla 3-8. Tabla de valores conocidos para cálculo de muestra. Valor de la muestra. Fuente: Elaboración propia en Empresa Komatsu Reman Center.

Considerando el resultado obtenido, se realiza un seguimiento en relación al uso y manipulación de 25 termos de nitrógeno líquido durante 1 mes. Con el análisis de una observación diaria durante 30 días se pretende demostrar el comportamiento de los datos tomando en consideración la aplicación de los nuevos tiempos de trabajo, planteado previo a este respaldo estadístico. Se registraron tiempos de uso de los diferentes termos hasta su agotamiento, en base a los rangos de nuevos tiempos calculados (1 a 7 minutos) de sumersión de todas las piezas enfriadas en los talleres. Dependiendo de la pieza a contraer (Pasador, rótula, bushing, cubeta, buje y eje), se realizó el cálculo en tiempo total de manipulación de cada termo, según lo establecido en tablas de puntos anteriores. El resultado del seguimiento demuestra que al realizar el ejercicio de tomar los datos de uso de los 25 termos criogénicos aplicando los nuevos tiempos óptimos de sumersión para cada componente, se obtiene un comportamiento de distribución normal de datos, con valores de cercanos a la media muestral (3,92 min.) y con una desviación estándar de 4,35 min. Al graficar los datos se obtiene un histograma en el que es posible determinar de manera visual que los promedios de todas las muestras estudiadas para cada termo se distribuyen normal dentro de los márgenes que encierran los rangos de valores de frecuencia o clase.

| Termos nitrógeno    | m1 [min.] | m2 [min.] | m3 [min.] | χ [min.] |
|---------------------|-----------|-----------|-----------|----------|
| 1                   | 2         | 2         | 7         | 3,67     |
| 2                   | 7         | 7         |           | 7,00     |
| 3                   | 2         | 2         | 2         | 2,00     |
| 4                   | 7         |           |           | 7,00     |
| 5                   | 2         | 4         | 2         | 2,67     |
| 6                   | 3         | 3         | 6         | 4,00     |
| 7                   | 2         | 4         | 2         | 2,67     |
| 8                   | 6         |           |           | 6,00     |
| 9                   | 7         |           |           | 7,00     |
| 10                  | 2         | 7         |           | 4,50     |
| 11                  | 3         |           |           | 3,00     |
| 12                  | 9         | 1         | 2         | 4,00     |
| 13                  | 3         | 7         |           | 5,00     |
| 14                  | 1         |           |           | 1,00     |
| 15                  | 8         |           |           | 8,00     |
| 16                  | 1         |           |           | 1,00     |
| 17                  | 3         | 4         |           | 3,50     |
| 18                  | 1         | 2         |           | 1,50     |
| 19                  | 2         |           |           | 2,00     |
| 20                  | 1         |           |           | 1,00     |
| 21                  | 4         | 2         | 3         | 3,00     |
| 22                  | 7         | 1         |           | 4,00     |
| 23                  | 7         |           |           | 7,00     |
| 24                  | 0         | 7         |           | 3,50     |
| 25                  | 1         | 7         |           | 4,00     |
| Media muestral      |           | 3,92      |           |          |
| Desviación estándar |           | 4,35      |           |          |

Tabla 3-9. Tabla de análisis tiempo óptimo de sumersión para 25 termos de nitrógeno en observación.

Fuente: Elaboración propia en Empresa Komatsu Reman Center.

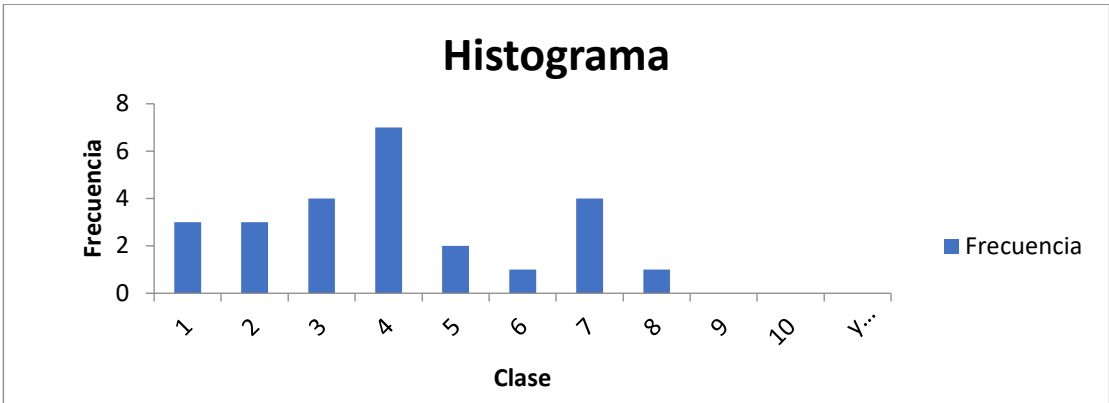


Figura 3-1. Histograma que refleja el comportamiento normal de los nuevos tiempos de trabajo. Fuente: Elaboración propia en Empresa Komatsu Reman Center.

Con este resultado es posible concluir que el estudio teórico planteado posterior a la obtención de nuevos tiempos de trabajos se refleja de manera normal, considerando una situación y comportamiento cotidiano de uso de termos de nitrógeno líquido y bajo una carga de trabajo mensual según demanda. Si en un futuro la actual demanda de los talleres aumenta, y nuevas piezas deben ser enfriadas para montaje por contracción, los nuevos tiempos de trabajo estarían dentro de los promedios calculados en este estudio, considerando que se han agrupado para el análisis, todos los componentes que forman parte del abanico de piezas a enfriar, manteniéndose el comportamiento normal de distribución.

Finalmente, considerando todo lo planteado en los capítulos anteriores de este proyecto, es posible, y de manera categórica, aplicar este planteamiento de mejora a lo que actualmente se realiza en los talleres hidráulico y electromecánico de la empresa Komatsu Reman Center. Lo anterior, posee respaldo en que mediante este estudio práctico, el cuál trae como resultado emplear una reducción de los tiempos de trabajo vigentes, permitirá no solo acotar los tiempos en la etapa de ensamble de componentes, si no que adicionalmente esto se transformará en una reducción de costos mensual de inversión en las cargas de nitrógeno necesarias para satisfacer la demanda actual de la compañía en las líneas de producción.

En relación al kit de trabajo empleado para la tarea de montaje de piezas mecánicas por criogenia, se presentará mejora en cuanto al estado en que se mantiene el equipo para su utilización, y se fabricaran receptáculos de acero inoxidable con las condiciones óptimas para soportar el peso de los aceros depositados en su interior y evitar tener fugas considerables mientras se realiza el trasvasije del líquido desde su termo respectivo.

## **CONCLUSIONES**

De la presente investigación se desprenden las siguientes reflexiones y se da respuesta al objetivo general y los objetivos específicos planteados al inicio del trabajo.

Perfectible según la Real Academia de la Lengua Española, es un adjetivo que se aplica a aquello que es susceptible de perfeccionar, de acuerdo a esto se puede aseverar, que todo es perfectible en mantenimiento, desde el punto de vista de los equipos o bien de los procesos.

Dicho lo anterior, en esta investigación se logró evidenciar aquello y dar cumplimiento al objetivo general “Optimizar el recurso utilizado para el montaje de piezas mecánicas por criogenia en etapa de ensamble de componentes”, debido que de un proceso técnico realizado por años de la misma forma, surgió la posibilidad de mejora, concretada mediante un estudio, que bien utilizo los recursos disponibles en la compañía.

Para concretar la meta anteriormente expuesta, se fue respondiendo a los objetivos específicos; el primero: “Comprender qué son los gases criogénicos, sus factores de riesgo y formas de manipulación, a través de sus características e identificación del gas nitrógeno”. Para ello se indagó en diversas fuentes que a través del marco teórico permitieron develar las diversas temáticas y llegar a su comprensión.

Al abordar el segundo objetivo específico, que implicaba: “Evaluar el procedimiento actual de trabajo para el montaje de piezas por contracción”, se obtuvieron respuestas a las preguntas del problema, que determinaron la causa de la investigación: “el mal uso del recurso utilizado para la contracción de piezas”. En base a esta evaluación, fue posible determinar cuál era el mejor procedimiento para llevar a cabo el montaje de piezas por contracción, dando paso al tercer objetivo específico “Analizar resultados a través de la medición de parámetros para definir la mejora del procedimiento”.

Posterior a determinar el método adecuado de investigación y teniendo disponibles sólo los recursos vigentes dentro de la compañía, sin ningún adicional, se procedió a realizar un análisis de los datos obtenidos, siempre bajo un fundamento de respaldo técnico - práctico y teórico, para determinar qué estaba impidiendo lograr una mayor optimización del recurso empleado para el montaje de piezas por contracción. Adicionalmente se develó en este estudio de análisis de parámetros contracción – tiempo, que es posible generar una reducción de costos importante en base a respaldar

técnicamente un procedimiento de gran relevancia dentro de la etapa de ensamble de equipos en los talleres hidráulico y electromecánico de la compañía.

En concordancia con lo anterior, se puede afirmar que el resultado de la investigación fue positivo y cumplió con las expectativas planteadas, sin embargo, éste estudio no deja de estar exento de un complemento adicional o algo que permita perfeccionarlo aún más, incluyendo nuevos métodos de estudio, inclusión de nuevos parámetros para análisis y futuras nuevas investigaciones relacionadas al uso de gases criogénicos para montaje de piezas mecánicas por contracción.

## **BIBLIOGRAFÍA**

CENTRAL SERVICIOS S.A. – Centro de formación, Innovación y Certificación CFIC – “Manejo y uso de gases criogénicos” - [2016]

ISOTOOLS EXCELLENCE. [En línea] <<https://www.isotools.org/2015/03/19/que-son-las-normas-iso-y-cual-es-su-finalidad/>> [consulta: 04 de noviembre de 2018]

ISOTOOLS EXCELENCE. [En línea] <<https://www.isotools.org/pdfs-pro/ebook-ohsas-18001-gestion-seguridad-salud-ocupacional.pdf>> [consulta: 04 de octubre de 2018]

SISTEMA DE INTRANET “RESO” KOMATSU REMAN CENTER CHILE. [En línea] <<http://reso.komatsu.cl/krc/>> [consulta: 12 de septiembre 2018]

## **ANEXO: GLOSARIO TÉCNICO**

### **Overhaul:**

Servicio de mantenimiento preventivo y correctivo aplicado a equipos con horas de operación cumplidas.

### **Remanufactura:**

Producto que se ha manufacturado nuevamente y que ha sido fabricado de manera manual o con la intervención de una máquina.

### **Fluencia:**

Deformación irre recuperable de una probeta.

### **Distribución normal:**

La distribución normal (en ocasiones llamada distribución gaussiana) es la distribución continua que se utiliza más comúnmente en estadística.

### **Histograma:**

Es una representación gráfica que maneja distintas estadísticas. Su utilidad se basa en ver o mostrar la posibilidad de establecer de manera visual, ordenada y fácil los datos numéricos y estadísticos que pueden tornarse complicados de entender.

### **Desviación estándar:**

La desviación estándar es la medida de dispersión más común, que indica qué tan dispersos están los datos con respecto a la media. Mientras mayor sea la desviación estándar, mayor será la dispersión de los datos.