

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARIA

SEDE VIÑA DEL MAR- JOSÉ MIGUEL CARRERA

**ESTUDIO COMPARATIVO DE APRIETE DE PERNOS CON TORQUE Y
TENSADO HIDRAULICO**

Trabajo de Titulación para

optar al Título de Ingeniero en

MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

Alumno:

Bastían Cristóbal Acevedo Peña

Profesor guía:

Mg. Ing. Carlos Baldi González

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo de título a mi familia, pero en especial a mi pareja, que sin ella nada de esto hubiese sido posible, gracias por el apoyo en los momentos difíciles en los cuales no encontraba el camino para seguir adelante con esto que es tan importante para nosotros, la complicidad en la previa de cada entrega y el apoyo en las noches largas de avance, que de no ser por el amor recibido todo hubiese sido mucho más complicado, gracias eternas...

Además, quiero tener el honor mencionar honrosamente a mis dos angelitos, que a pesar de no estar de manera carnal, siempre los sentí conmigo en cada momento, dándome el impulso necesario para lograrlo, sin duda alguna nunca me abandonaron.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a Víctor Campos, que con su empresa “Fields Industry”, que fueron los primeros en creer en este proyecto, aportando todo su conocimiento para poder comprender de manera teórica lo que significaban estos procedimientos, estaré eternamente agradecido de ello, sin lugar a duda grandes profesionales en el rubro.

También quiero agradecer a “AST industrial” por apoyarme en el momento en el cual todo se veía oscuro y sin salida, en especial a Matias Inostroza y Miguel Donoso, quienes siempre tuvieron la disposición de ayudar y generar un ensayo comparativo que cumpliera totalmente las expectativas con respecto a lo que se necesitaba.

Finalmente, el agradecimiento más importante es a mi profesor guía, que siempre tuvo la disposición para resolver mis dudas, algunas un poco obvias y muchas veces en horarios inoportuno, siendo respondidas de igual manera, gracias infinitas...

RESUMEN

Cuando se lleva a cabo un procedimiento, es de carácter primordial conocer su paso a paso, ya sea un método básico o alguno que requiere mayor complejidad, si este es un requisito para conllevar un funcionamiento óptimo y una alta seguridad de algún componente que sea importante en un ciclo productivo, hay que conocer otros puntos elementales, abarcando desde el montaje hasta los resultados posteriores a la ejecución del trabajo.

En el presente trabajo de título, se dará a conocer lo que son dos técnicas importantes en la industria como lo es el torque hidráulico y el tensionado hidráulico, se hablará de manera teórica abarcando la buena práctica y sus requerimientos, nombrando cada una de sus partes internas como componentes necesarios para que estos métodos se lleven a cabo, es importante resaltar, que estos dos procedimientos no son iguales, ni en funcionamiento ni resultado, por ende se realizó una comparativa de estos dos, con la ayuda de “AST industrial” (empresa líder en los métodos a estudiar), en los cuales se llevaron a situaciones reales de trabajo, se torquearon y tensionaron algunos pernos, con cargas previamente calculadas, la cual, posterior a la aplicación se midió alargamiento mediante un instrumento ultrasónico específico para la tarea, concluyendo así la efectividad de los componentes a estudiar.

No solamente es valioso conocer la técnica, sino que también los costos que estos mantienen en el mercado, por ende, se realizó un análisis de costos, con valores reales entregados por dos empresas dedicadas al rubro de la carga de pernos, abarcando lo que es la compra de un componente hasta lo que es el arriendo de las herramientas y accesorios con su mano de obra ejecutante.

Paralelamente se creó una encuesta con preguntas dirigidas a personas del rubro industrial y cercanas a las técnicas a aprender, para conocer sus opiniones con respecto a estas herramientas, considerando si conocen o han utilizado esta herramienta y saber cuánto es lo que pagarían por ello, dándonos así otra arista que nos acerque a la aplicación de estas técnicas en las áreas afines.

INDICE

INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS.....	2
OBJETIVO GENERAL	2
OBJETIVOS ESPECIFICOS	2
CAPITULO I: CONCEPTOS NECESARIOS DE LA UTILIZACION DE TORQUE CONVENCIONAL Y DE APRIETES HIDRAULICOS	3
1 CONCEPTOS NECESARIOS DE LA UTILIZACION DE TORQUE CONVENCIONAL Y DE APRIETES HIDRAULICOS	4
1.1. APRIETE CONVENCIONAL O TORQUE	4
1.1.1. Constitución de una llave de torque	4
1.1.2. Tipos de llave de torque.....	5
1.1.2.1. Llave de torque tipo aguja:	5
1.1.2.2. Llave de torque tipo trueno:.....	6
1.1.2.3. Llave de torque tipo caratula:	7
1.1.2.4. Llave de torque electrónica:.....	7
1.1.3. Montaje general de una llave de torque	9
1.2. TORQUE HIDRÁULICO	10
1.2.1. Montaje llave de torque hidráulica	11
1.2.2. Funcionamiento de una llave de torque	15
1.2.3. Fuerza de Fricción de torque.....	16
1.3. TENSIONADOR HIDRAULICO	17
1.3.1. Montaje de un tensionador hidráulico	19
1.3.2. Factor de cruce de cargas por etapas. (CLF).....	22
1.3.3. Factor de transferencia de cargas (LFT)	23
1.4. FINZALIZACIÓN CAPITULO	24
CAPITULO II : ESTUDIO COMPARATIVO MEDIANTE USO DE ULTRASONIDO.	25

2 PRINCIPIOS DE LA UTILIZACION DE ULTRASONIDO PARA MEDIR ELONGACIÓN	26
2.1. BASES PARA LA UTILIZACIÓN DE MEDIDOR DE ELONGACIÓN ULTRASONICO	26
2.1.1. Efecto piezoeléctrico en transductor de ultrasonido	28
2.2. UTILIZACION MINIMAX V2.0.....	29
2.3. REALIZACIÓN ESTUDIO COMPARATIVO TENSADO HIDRAULICO Y TORQUE HIDRAULICO.....	30
2.3.1 Ley de Hooke	30
2.3.2. Formula Torque.....	33
2.3.3. Formula de Fuerza	33
2.3.4. Formula elongación	35
2.3.5. Prueba de Torque.....	36
2.3.6. Prueba de tensionado	38
2.4. FINALIZACIÓN CAPITULO	41
CAPITULO III: ANALISIS DE VALORES Y OPINIONES DEL ÁREA INDUSTRIAL	42
3 ANALISIS DE VALORES	44
3.1. COMPRA DE EQUIPOS	44
3.2. ARRIENDO DE EQUIPOS.....	45
3.3. VALOR SERVICIO COMPLETO	46
3.4. REALIZACIÓN VAC.....	48
3.5. INTRODUCCIÓN A LA REALIZACIÓN DE UNA ENCUESTA	51
3.5.1. Tipo encuesta según objetivos.....	51
3.5.2. Tipo de encuesta según la forma de aplicación.....	52
3.5.3. Tipo de encuesta según la frecuencia de aplicación	53
3.5.4. Tipo de encuesta según el tipo de pregunta y respuesta	54
3.6. REALIZACIÓN ENCUESTA.....	55
3.6.1. Preguntas cuestionario y motivos de realización.....	56
3.6.2. Respuestas de torque hidráulico	59

3.6.3. Respuestas tensionado hidráulico	60
CONCLUSIONES	64
BIBLIOGRAFIA	66
ANEXO	67

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 llave torque tipo aguja.....	5
Figura 1-2 llave de torque tipo micrométrica	6
Figura 1-3 llave torque tipo split-beam.....	6
Figura 1-4 llave torque tipo caratula	7
Figura 1-5 llave torque electrónica	8
Figura 1-6 Torque	9
Figura 1-7 Torquímetro hidráulico	10
Figura 1-8 Torquímetro hidráulico	12
Figura 1-9 Torquímetro hidráulico	13
Figura 1-10 Torquímetro hidráulico	13
Figura 1-11 Torquímetro hidráulico	14
Figura 1-12 Torquímetro hidráulico	15
Figura 1-13 Extracto coeficientes de fricción en tabla	16
Figura 1-14 Tensionador	18
Figura 1-15 Montaje Tensionador hidráulico.....	19
Figura 1-16 Montaje tensionador hidráulico	20
Figura 1-17 Montaje tensionador hidráulico	20
Figura 1-18 Montaje tensionador hidráulico	21
Figura 1-19 secuencia de conexión.....	21
Figura 1-20 Factor cruce de cargas.....	22
Figura 1-21 Nivel de carga de perno	22

Figura 1-22 Factor de transferencia de cargas.....	23
Figura 1-23 Factor de transferencia de cargas.....	24
Figura 2-1 Partes medidor ultrasónico	27
Figura 2-2 Efecto piezoeléctrico.....	28
Figura 2-3 Pantalla MiniMax	29
Figura 2-4 Comportamiento zonas de Ley de Hooke	32
Figura 2-5 Formula de torque.....	33
Figura 2-6 Formula de Fuerza	33
Figura 2-7 Tabla H-1 Hilos métricos	34
Figura 2-8 Formula de elongación.....	35
Figura 2-9 aplicación torque hidráulico	37
Figura 2-10 aplicación torque hidráulico	37
Figura 2-11 Uso tensionador hidráulico.....	39
Figura 2-12 Utilización MiniMax.....	40
Figura 3-1 Encuesta online.....	52
Figura 3-2 Encuesta Transversal	53
Figura 3-3 Encuesta Longitudinal	54
Figura 3-4 Representación respuesta abierta y cerrada.....	55

INDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Valores calculados	36
Tabla 2-2 Valores de alargamiento con carga torque según MiniMax	38
Tabla 2-3 Valores de elongación con carga de tensionado según MiniMax.....	40
Tabla 3-1 Costos de adquisición de equipos	45
Tabla 3-2 Costos arriendo equipos	46
Tabla 3-3 Costos de servicio completo	47
Tabla 3-4 VAC Tensionado	49
Tabla 3-5 VAC Torque	50

INDICE DE GRAFICOS

Gráfico 3-1 Conocimiento Torque hidráulico	59
Gráfico 3-2 Conocimiento Tensionado hidráulico	60
Gráfico 3-3 Utilización de Tensionado por sobre Torque	61
Gráfico 3-4 Capacitación sobre Tensionado Hidráulico	62
Gráfico 3-5 Capacitación sobre Torque hidráulico	62

INTRODUCCIÓN

En el rubro industrial, la tenencia de componentes críticos es muy recurrente, siendo así, la inoportuna falla de este miembro de la cadena productiva generaría altos costos para la empresa, por lo que asegurar procedimientos o simplemente los descansos de este es de vital importancia, en consecuencia, buscar un método más efectivo al momento de generar este trabajo asomando como solución el tensado y torque hidráulico

Cabe destacar que estos procedimiento son generados a través de presión hidráulica, entregado por una bomba oleo hidráulica, que a través de una manguera de alta presión, llega al tensionado o llave de torque el cual son los ejecutantes de este trabajo, de igual manera se indica que el método de torque convencional (sin presión hidráulica) es un procedimiento indirecto, ya que el 80% de la carga lo recibe la cabeza del perno y los tres primeros hilos, ayudado por la fricción, solo el 20% queda disponible para distribuir tensión efectiva en el vástago o esparrago, este cambio en la perdida de la carga provoca un tensado desigual en los pernos, de igual manera en el mercado existe la posibilidad de dar torque a un perno de manera hidráulica, mejorando la efectividad de este procedimiento, pero no llega a ser tan precisa como lo es el tensionado.

En el tensionado hidráulico, la situación es totalmente inversa ya que la carga es entregada al vástago o espárrago, lo estira hasta su límite elástico máximo, para posterior volver el vástago a su diámetro inicial y la tuerca absorbiendo la carga generada en él.

El desconocimiento de la técnica por parte de los operadores de torque o apriete convencional sobre sus maquinarias, ha hecho que la industria tenga en mente la idea de gestionar un sistema con mayor eficiencia, mucho más directo y preciso, para disminuir costos por tiempo operativos debido a fallas, la seguridad de la empresa al momento de confiar en sus operadores en algo tan básico pero importante como lo es la fijación de un perno, ya que muchas veces estos tienen un papel primordial en las fallas más recurrentes generadas en elementos críticos.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Elaborar un estudio comparativo de uso eficiente del tensado y torque hidráulico de pernos en el sector industrial, mediante el uso de normas, instrumentos de medición y trabajo en terreno, analizando los resultados de ensayos de elongación.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- 1) Comprender las técnicas adecuadas del tensionado de pernos a través de un tensionador hidráulico de alta presión y equipos de torque abarcando manual e hidráulico, con el fin de considerar los correctos procedimientos, uso seguro, mecanismos y características equipos.
- 2) Desarrollar ensayo de torque y tensionado hidráulico a través de instrumentos de medición, mediante el correcto uso de los procedimientos y obtención de resultados de la aplicación de los ensayos.
- 3) Analizar los resultados obtenidos en el ensayo realizado, además de los costos de utilización de estas herramientas y la viabilidad de la implementación de este tipo de procedimientos en el sector industrial.

CAPITULO I: CONCEPTOS NECESARIOS DE LA UTILIZACION DE TORQUE
CONVENCIONAL Y DE APRIETES HIDRAULICOS

1 CONCEPTOS NECESARIOS DE LA UTILIZACION DE TORQUE CONVENCIONAL Y DE APRIETES HIDRAULICOS

En el Presente trabajo de título se hablará de los conceptos generales para conocer los procedimientos de apriete ya sea convencional o a base elementos de alta presión, cabe destacar que, en la industria, estos métodos cada vez están tomando mayor campo en la utilización, siendo su estudio algo sumamente importante para el lector y/o futuros profesionales.

1.1. APRIETE CONVENCIONAL O TORQUE

Mas conocido como “par de apriete” es un sistema convencional de ajustar un perno o tornillo a través de una fuerza rotacional o torque, esta fuerza se multiplica con la distancia asi dando a entender su nombre de par de apriete (fuerza por distancia), su unidad de medida que se basa en la misma condición, siendo entregados en newton-metro o libra-pie.

Cada perno o tornillo tiene un par de apriete que está especificado por manual, el cual se calcula tomando en consideración el material y factores que son importantes al momento de dar un apriete convencional , entre estos factores se encuentra la elongación y tensión a las cuales es importante saber el límite de estos dos índices, ya que con ello el perno o tornillo se podría rodar o en el peor de los pronósticos cortar el perno, en consecuencia un mayor desgaste para poder solucionar el problema.

Para dar un torque o par de apriete de manera óptima es importante tener en consideración los índices nombrados anteriormente, pero además factores como la herramienta que se usará tiene el mismo nivel de importancia, ya que facilita el trabajo, siempre y cuando este calibrada, es por eso que en el mercado existen distintas opciones para poder dar un torque de correcta manera. Aunque los requisitos difieren de un individuo a otro, es esencial considerar varios elementos clave previos a optar por adquirir o incluso utilizar en el entorno de trabajo cualquier herramienta. Esto permitirá elegir la opción más idónea según las exigencias entregadas.

1.1.1. Constitución de una llave de torque

Principalmente una llave de torque está conformada de cuatro componentes a lo largo de un mango o tubo:

- Entrada: Pueden ser de 1/4", 3/8", 1/2", 3/4", cada una de estas entradas aplicara una fuerza distinta para los distintos tamaños de piezas.
- Selector de giro: Permite realizar el torque tanto para el lado izquierdo como para el lado derecho
- Escala: Muestra los valores de torque que se aplican en distintas unidades de medidas.
- Seguro: Permite que una vez que se aplica el torque requerido, este no siga aplicando o no disminuya el torque ya realizado. Traba la llave dinamométrica.

1.1.2. Tipos de llave de torque

Existen principalmente 4 tipos de llave de torque:

1.1.2.1. Llave de torque tipo aguja:

Entrega el apriete mediante la flexión en un brazo metálico elástico. Desarrollado en los primeros años del siglo XX, su diseño no tiene mayores complicaciones, pero su lectura resulta compleja y en comparación con los niveles actuales de precisión, no se reconoce como una herramienta exacta. Por esta razón, a pesar de ser la opción más accesible en términos de costos, en la práctica no es muy utilizada, incluso los principales proveedores han dejado de fabricarla. En la figura 1-1 se muestra una llave de torque tipo aguja.



Figura 1-1 llave torque tipo aguja

Fuente: www.jumpstore.cl

1.1.2.2. Llave de torque tipo trueno:

También conocido como de liberación, desenganche o torquímetro de "clic" , debido al sonido de alerta al momento de llegar a la carga entregada, es el más utilizado en la práctica. Emplea un embrague ajustado para liberar el torque al llegar a un umbral específico de carga. Su estructura interna puede significar un muelle en forma espiral torquímetros micrométricos (figura 1-2) o dos brazos internos torquímetros tipo "split-beam" (figura 1-3), la simplicidad en cuanto a componentes internos ayuda a disminuir la fricción y el rápido deterioro.



Figura 1-2 llave de torque tipo micrométrica

Fuente: www.oteroindustrial.cl



Figura 1-3 llave torque tipo split-beam

Fuente: www.amazon.com

1.1.2.3. Llave de torque tipo caratula:

También se conoce como torquímetro de reloj, cuenta con un monitor análogo circular marcada con unidades de torque, norma en libras-pie o Newton-metros, y dos manecillas; una señala el torque a ser aplicado, mientras que la otra actúa como una aguja de memoria o huella, como se muestra en la figura 1-4, en el mercado se puede encontrar de manera mecánica o digital.



Figura 1-4 llave torque tipo caratula

Fuente: www.capris.cr

1.1.2.4. Llave de torque electrónica:

Este tipo de llave en el mercado tiene un alto costo, pero a beneficio es la más precisa. contiene un medidor electrónico de extensión para evaluar el torque ejercido y combina propiedades y beneficios ausentes en otros tipos de llave de torque. En ocasiones se le denomina "computorque" debido a su suficiencia para conectarse con un computador y así simular representaciones gráficas a través de algún software adecuado, la figura 1-5 muestra una llave de torque electrónica como la detallada anteriormente.



Figura 1-5 llave torque electrónica

Fuente: www.ebay.com

Cabe destacar que no existe solo un solo formato de llave torque por tipo, si no que estas vienen diferenciados en cuanto a las dimensiones del encaje que tiene como unidad de medida la pulgada, pero no solo eso, sino que también la carga que estas pueden entregar, para ello debemos identificar la magnitud del perno a apretar, si llegase a ser por ejemplo un tornillo pequeño o una tuerca de la misma medida que tiene poco torque a recibir , sería necesario utilizar una llave de ¼” ya que es la más apropiada para pernos de medidas pequeñas.

Paralelamente algo que no se debe olvidar es el punto óptimo de utilización de una llave de torque esta entre el 40% y el 80% de la escala máxima de la llave es decir si se tiene una llave que tenga como capacidad máxima de 250 libas-pie se debería utilizar para torques en un rango de 100 a 200 libras- pie, de igual manera esta forma para dar apriete tiene limitaciones ya que no es posible conocer con exactitud la tensión de precarga entregada a un perno, debido a la influencia de los coeficientes de fricción en los hilos y superficies de contacto que son prácticamente imposibles de definir con exactitud y varían constantemente, otro inconveniente es la falta de uniformidad en el uso de estos métodos, al momento de entregar una carga idéntica a distintos pernos es donde se hace complejo reproducir la misma carga entregada en el perno anterior.

1.1.3. Montaje general de una llave de torque

Para utilizar una llave dinamométrica o de torque, es importante conocer el procedimiento de montaje para utilizarla de manera correcta:

- Es de vital importancia conocer el torque que estipula el fabricante con respecto al tornillo que se va a torquear, ya que con esto se evita que el perno se deforme o se suelte con la carga entregada.
- Verificar que se esté usando la llave correcta con respecto a la carga y al porte y tipo del tornillo a utilizar.
- Identificar el tipo de cabeza del tornillo o perno a apretar para poder utilizar la conexión correcta, estos pueden ser, por ejemplo, Torx, Allen, hexagonal, etc.
- Estas llaves tienen la opción de dar torque en ambos sentidos (derecha e izquierda) a un perno, para cambiar de modo se hace mediante una manilla en la parte trasera de la llave, por lo que comprobar que la llave está en el modo correcto es otro punto importante, cabe destacar que no es recomendable utilizar una llave dinamométrica para poder aflojar un perno.
- Antes de ejecutar el trabajo hay que introducir en la llave la carga según lo que el fabricante nos entrega, el ingreso de este va a depender de la llave de torque a utilizar.
- Finalmente para utilizar esta llave se debe apretar el perno con la mano hasta su tope con el fin de poder introducir la llave en la conexión verificada anteriormente y dar el apriete de manera óptima, en el caso de ser muchos pernos los que sujetan un componente, el apriete se debe realizar de manera cruzada para el apriete uniforme, en la figura 1-6 se muestra el concepto básico de torque y el posicionamiento de una llave dinamométrica.

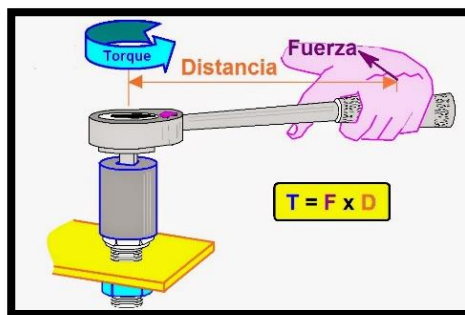


Figura 1-6 Torque

Fuente: coparoman.blogspot.com

1.2. TORQUE HIDRÁULICO

La llave hidráulica de torque es una herramienta especializada empleada en varias industrias para aplicar un torque exacto y regulado a los pernos y tuercas en situaciones que requieren un alto nivel de torque. Esta clase de herramienta ha ganado mucha aceptación debido a su habilidad para garantizar un apriete uniforme y seguro, lo que reduce la posibilidad de dañar el perno o uniones a las cuales se le está aplicando torque.

Una llave de torque está compuesta de varias partes esenciales que trabajan de manera grupal para dar una apriete más preciso que una llave manual, en primer lugar cuenta con un cilindro hidráulico, que es el encargado de entregar la fuerza necesaria para aplicar torque, este cilindro está conectado directamente a una bomba hidráulica que entrega el fluido necesario para generar presión, la que puede ser activada de manera manual, eléctricamente o mediante aire comprimido según el modelo de llave o de las necesidades del operador. En el extremo opuesto del cilindro se encuentra el cabezal, este es el encargado de estar en contacto directo con el perno o tuerca a la cual se le dará el apriete, este cabezal tiene la propiedad de poder adaptarse a diferentes tipos y tamaños de pernos, lo que lo hace muy versátil. A continuación, la figura 1-7 indica cada una de las partes de esta herramienta a estudiar.

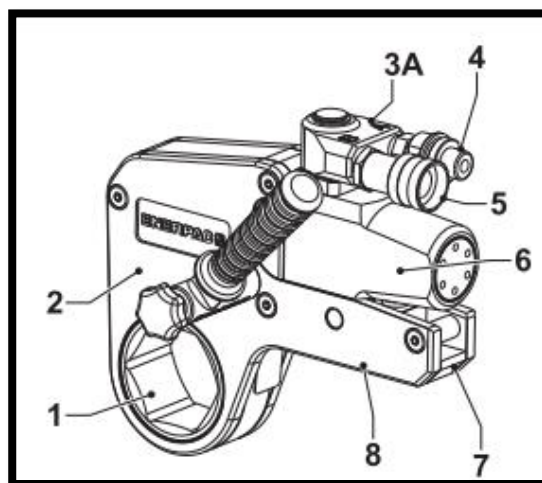


Figura 1-7 Torquímetro hidráulico

Fuente: manual Enerpac

- 1.- Carraca hexagonal
- 2.- Cabezal
- 3A.- Acoplamiento giratorio hidráulico
- 4.- Conexión de manguera de avance
- 5.- Conexión de manguera de retorno
- 6.- unidad de accionamiento hidráulico
- 7.- Palanca de desbloqueo del cabezal
- 8.- Pie de reacción

Cabe destacar que las llave de torque hidráulicas, tienen la capacidad de poder entregar un apriete uniforme, junto a la relación tamaño- torque, ya que pueden entregar un alto torque al menor tamaño de la herramienta, de igual manera este tipo de herramienta tienen la capacidad de poder controlar con precisión el torque aplicado, ayudando a prevenir los excesos de apriete, evitando las deformaciones y roturas de los pernos, o que se le entregue menos torque del requerido, de igual manera cabe destacar que este tipo de llaves torque, tienen la cualidad de poder ser utilizadas en espacios reducidos o de difícil acceso, teniendo una estructura más compacta y ligera, lo que facilita su manejo en lugares de difícil acceso.

1.2.1. Montaje llave de torque hidráulica

Para montar una llave de torque hidráulica es necesario seguir los siguientes pasos de manera rigurosa:

- Fijar la palanca de posicionamiento (9), con el tornillo surcado (10), la palanca se puede posicionar en los dos extremos de la llave, como muestra la figura 1-8.

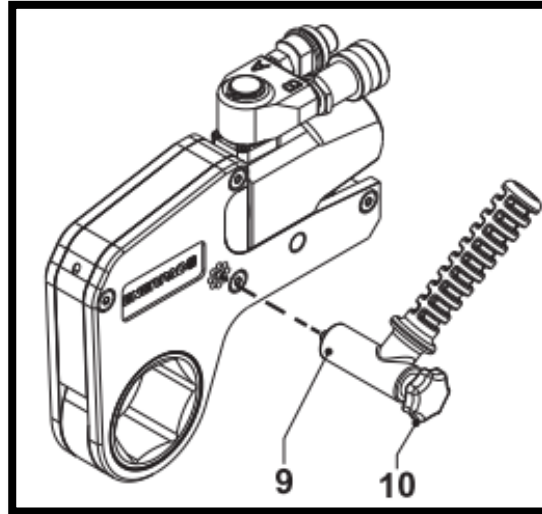


Figura 1-8 Torquímetro hidráulico

Fuente: manual Enerpac

- Cambiar el cabezal (según corresponda), para esto es importante considerar que la bomba no esté operando y de que se haya eliminado toda la presión (0 bar/psi) antes de extraer o cambiar el cabezal, de lo contrario podría generar un accidente, ya que la unidad de accionamiento se puede desenganchar por la fuerza.
- Retirar el cabezal.
- Asegurar que el pistón hidráulico de la unidad de accionamiento este totalmente retraído.
- Sujetar firmemente la carcasa del cabezal con la mano o colocar la herramienta en una mesa de trabajo.
- Tirar de la palanca de desbloqueo del cabezal (7) hacia afuera.
- Extraer el cabezal (2) de la unidad de accionamiento hidráulico (6), como muestra la figura 1-9.

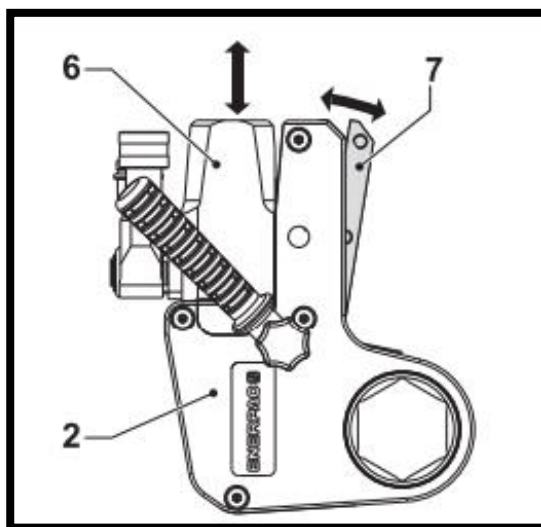


Figura 1-9 Torquímetro hidráulico

Fuente: Manual Enerpac

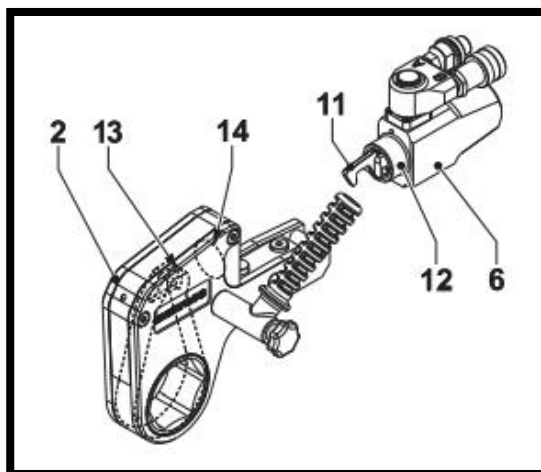


Figura 1-10 Torquímetro hidráulico

Fuente: Manual Enerpac

- Asegurar de que el eslabón de retracción (11) quede orientado con la hendidura (13) en la palanca de la carcasa. Rotar el vástago del pistón si fuera necesario, partes que muestra la figura 1-10.
- Encajar la unidad de accionamiento en el cabezal y empuje la guía (12) por el agujero en la placa de posicionamiento de la unidad de accionamiento (14).
- Volver a alojar la palanca de desbloqueo (7) (figura 1-9) en el cabezal (2). Asegurar que el retén circular encaje en su posición. Comprobar si la palanca de desbloqueo del cabezal está completamente cerrada. Es importante verificar esto, ya que si no se puede desprender generando lesiones graves.

- Instalar accesorios y el brazo de reacción alargado (19).
- Extraer el pasador de retención del espaciador.

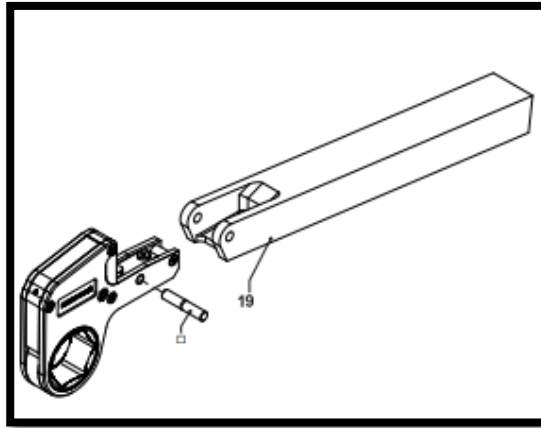


Figura 1-11 Torquímetro hidráulico

Fuente: Manual Enerpac

- Posicionar el cabezal en el recorte del brazo de reacción alargado (19), orientando los orificios en el brazo con el orificio en el cabeza, según la figura 1-11
- Insertar el pasador largo, asegurando que el pasador acople perfectamente en ambos extremos del brazo.
- En caso de ser una pala de reacción, seguir el mismo procedimiento.
- Conectar las mangueras
- Asegurar de que todas las mangueras y accesorios estén clasificados para un funcionamiento de a por lo menos 690 bar [10.000 psi]. Es importante verificar que todos los acoplamientos hidráulicos estén correctamente instalados antes de usar la herramienta. El no observar estas precauciones puede resultar en una rotura o desconexión de las mangueras bajo presión. También pueden producirse fugas de aceite a alta presión. Esto puede provocar lesiones graves.
- Conectar las mangueras a la llave tal como muestra la figura 1-12

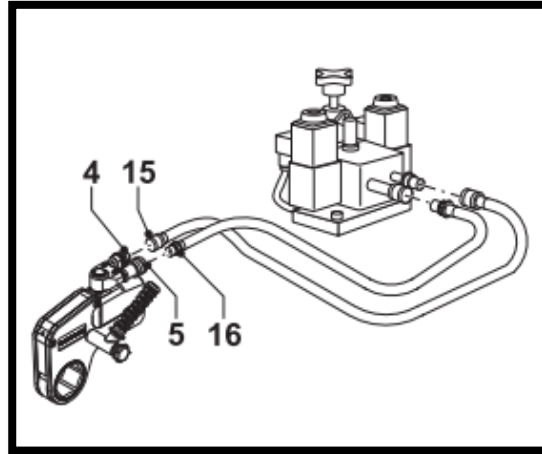


Figura 1-12 Torquímetro hidráulico

Fuente: manual Enerpac

- Comprobar que se haya descargado toda la presión en el sistema y que el manómetro de la bomba indique cero (0) bar/psi.
- Extraer los guardapolvos de las mangueras.
- Instalar la manguera con el acoplamiento hembra (15) a la entrada de la herramienta (4).
- Conectar la manguera con el acoplamiento macho (16) al acoplamiento de retorno de la llave (5).
- En cada conexión, poner el manguito del acoplamiento hembra sobre el acoplamiento de macho. Coloque las roscas y apriete el manguito a mano.
- Acoplar las mangueras a la bomba. Consulte el manual de instrucciones que entrega el fabricante de la bomba.

1.2.2. Funcionamiento de una llave de torque

Antes de la puesta en funcionamiento se debe:

Comprobar que la tuerca o el perno que va a apretarse estén limpios y no tengan polvo además garantizar que las roscas de la tuerca encajen correctamente en las roscas del perno y que no se crucen entre ellas, además de cerciorar que las roscas y las

superficies de contacto estén cubiertas de un lubricante adecuado o de un producto que evite que se traben, no obstante es importante que los cálculos de par de torsión referidos a la fricción que entrega el lubricante, el mal calculo podría ocasionar que se entregue un torque inadecuado al perno, otro factor importante es utilizar una llave de sujeción adecuada al tamaño del perno y ratificar que este correctamente posicionada y fijada.

Para dar un correcto torque, también es importante ajustar la presión de la bomba hidráulica, para que entregue la presión necesaria para dar un torque adecuado, de igual manera es importante consultar al manual de fabricación de la bomba ya que en el existen los parámetros necesarios para cada apriete.

1.2.3. Fuerza de Fricción de torque

Para conocer con precisión la fuerza de tensión y de torque, es fundamental tener conocimiento del coeficiente de fricción. Sin embargo, parece casi imposible proporcionar valores confiables para los coeficientes de fricción, particularmente considerando sus variaciones en numerosas condiciones de superficie y lubricación. Además, hay que tener en cuenta las variaciones introducidas por los diversos métodos de ajuste, que contribuyen aún más a las incertidumbres variables.

Hay factores que influyen en el coeficiente de fricción, así como las superficies, la consistencia del material, la forma de lubricar, etc. por esto aumenta el factor de inseguridad, por lo tanto, solo se puede aceptar recomendaciones para elegir un factor de fricción que mejor corresponda, este coeficiente se elige mediante una tabla, como muestra la figura 1-13

DESIGNACIÓN		COEFICIENTE DE ROZAMIENTO μ					
ROSCA	PASO	0,07	0,08	0,10	0,11	0,12	0,14
		Momentos de apriete (da Nm)					
M 1,6	0,35	0,011	0,012	0,013	0,014	0,015	0,016
M 2	0,4	0,022	0,024	0,028	0,029	0,031	0,033
M 2,5	0,45	0,045	0,049	0,056	0,060	0,063	0,069
M 3	0,5	0,078	0,084	0,096	0,10	0,11	0,12
M 3,5	0,6	0,12	0,13	0,15	0,16	0,17	0,18
M 4	0,7	0,18	0,19	0,22	0,24	0,25	0,27
M 5	0,8	0,35	0,38	0,44	0,47	0,49	0,54
M 6	1	0,60	0,66	0,76	0,80	0,85	0,93
M 8	1,25	1,4	1,6	1,8	1,9	2,0	2,2
M 10	1,5	2,9	3,2	3,7	3,9	4,1	4,5
M 12	1,75	4,9	5,4	6,2	6,6	7,0	7,7
M 14	2	7,8	8,6	9,9	10,5	11,0	12,5
M 16	2	12,0	13,0	15,0	16,0	17,0	19,0
M 18	2,5	17,0	18,5	21,5	23,0	24,5	27,0
M 20	2,5	24,0	26,0	30,5	32,5	34,5	38,0
M 22	2,5	32,0	35,0	41,0	44,0	46,5	51,5
M 24	3	41,5	45,5	53,0	56,0	59,5	65,5

Figura 1-13 Extracto coeficientes de fricción en tabla

Fuente: Tenencia propia material de estudio

La Fuerza de fricción es proporcional a la fuerza normal y la fuerza cinética es igual al coeficiente de fricción denotado por la letra griega (μ), por ende, se utiliza la siguiente expresión para denominar la fricción

$$F_r = \mu N \quad \text{donde:}$$

- F_r es la fuerza de fricción entre dos superficies
- (μ) es el coeficiente de fricción que puede variar según el material de contacto.
- N es la fuerza normal

Cabe destacar que el coeficiente de fricción puede ser estático o dinámico esto va a depender de las condiciones en las cuales se dará el apriete.

1.3. TENSIONADOR HIDRAULICO

Un tensionador hidráulico de pernos es una herramienta especializada utilizada para aplicar una carga de tensión controlada en pernos, esta estira el perno de manera axial hasta su límite elástico permisible, de tal manera que la carga se vea en su totalidad en el cuerpo del perno y no en ciertos hilos de este, esto conllevará a que la tuerca se asiente en la base sin que la fricción entre la tuerca y el perno afecte en la precisión del tensado. Su objetivo es garantizar una sujeción segura y precisa en diversas aplicaciones industriales.

En el esquema de componentes que se utilizan para llevar el tensado de pernos, podemos identificar una bomba hidráulica que es la encargada de generar el caudal necesario para que la presión sea óptima, esto medido por un manómetro y finalmente ejecutado por un cuerpo tensador, que cabe destacar que puede ser más de uno. El proceso en el cual el tensador de pernos ejecuta su acción se ve relegado en la siguiente imagen, la cual fue recolectada de un instructivo entregado por la marca “Boltight” la cual es una de escasas marcas que proveen este tipo de instrumentos, cada uno de los puntos señalados en la figura 1-14 indican cada punto primordial para el uso de este elemento



Figura 1-14 Tensionador

Fuente: Boltight

Según la Figura 1-14:

- Punto 1: El aceite fluye hacia la celda de carga (es donde se almacena el aceite hidráulico)
- Punto 2: la carga generada por la celda es transferida hacia el extractor, ubicado en los costados del perno.
- Punto 3: el extractor transfiere la carga directamente al perno
- Punto 4: la tuerca se levanta de la superficie de la brida debido al estiramiento del perno provocado por la carga transferida por el extractor
- Punto 5: se gira la tuerca hacia abajo para que retenga la carga del perno.

Precarga de uniones apernadas:

Permiten definir de manera universal, determinadas características de los pernos y tuercas.

Cabe destacar que podemos utilizar este tipo de herramientas en pernos o tuercas que tengan un diámetro 5 mm hasta 500 mm, además la bomba utilizada en este tipo de procedimiento puede alcanzar una presión de 2000 bares, pero siendo la presión más común utilizada de 1500 bares, convirtiéndose así en uno de los procesos más precisos y seguros en el mercado, ya que es posible controlar la carga que se le aplica a un perno, siendo posible la reproducción exacta cuando se le quiere dar la misma carga a varios pernos, permitiendo el apriete simultáneo y fomentando el cuidado de las juntas o empaquetaduras.

1.3.1. Montaje de un tensionador hidráulico

El montaje de un equipo de tensionado hidráulico para el apriete de pernos es un proceso que requiere precisión y cuidado. A continuación, se proporcionará un paso a paso general para montar y utilizar este tipo de equipo:

- Verificar que el área de trabajo esté limpia y libre de obstáculos. Colocar las bases o soportes adecuados en el lugar donde se va a trabajar.
- Comprobar que el equipo de tensionado hidráulico esté en buenas condiciones y que no tenga fugas de aceite.
- Enroscar la tuerca y el perno en la aplicación donde se realizará el apriete. Asegurar de que estén limpios y en buenas condiciones.
- Instale el inserto alrededor de la tuerca, como señala la figura 1-15

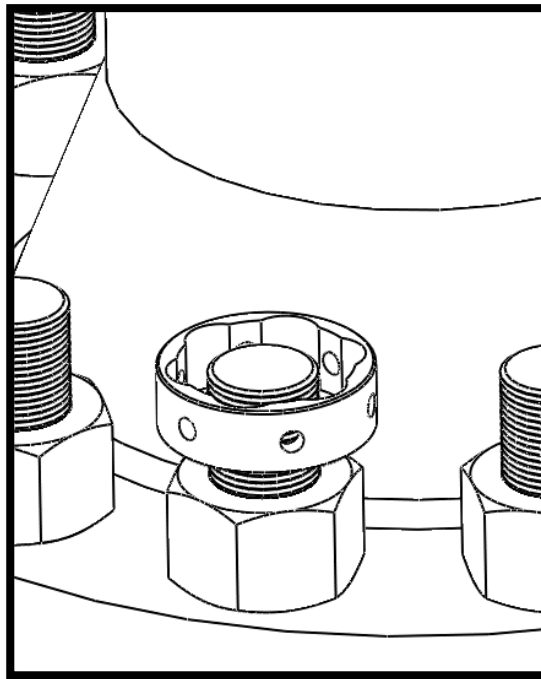


Figura 1-15 Montaje Tensionador hidráulico

Fuente: Fields industry

- Alinear el equipo de tensionado hidráulico con la tuerca y el perno de manera que estén perfectamente alineados
- Instalar el Tensionador, cuidando de dejar las conexiones en posición cómoda para conectar las mangueras, al igual que la figura 1-16

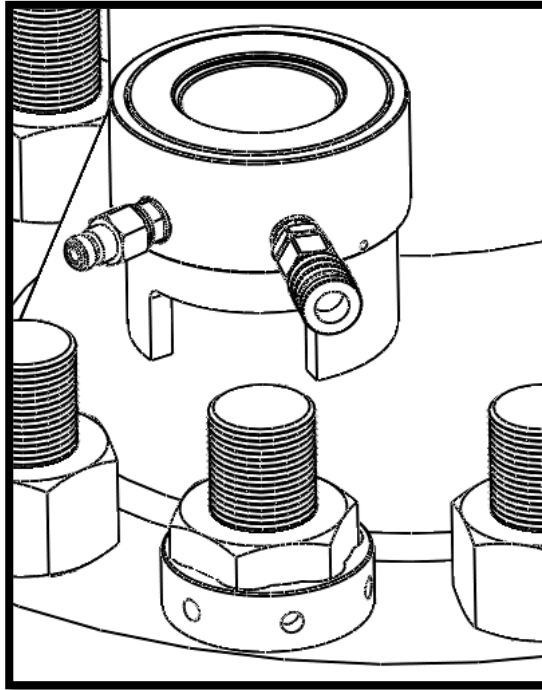


Figura 1-16 Montaje tensionador hidráulico

Fuente: Fields industry

- Instale el inserto roscado, con este elemento la tuerca podrá girar. (figura 1-17)

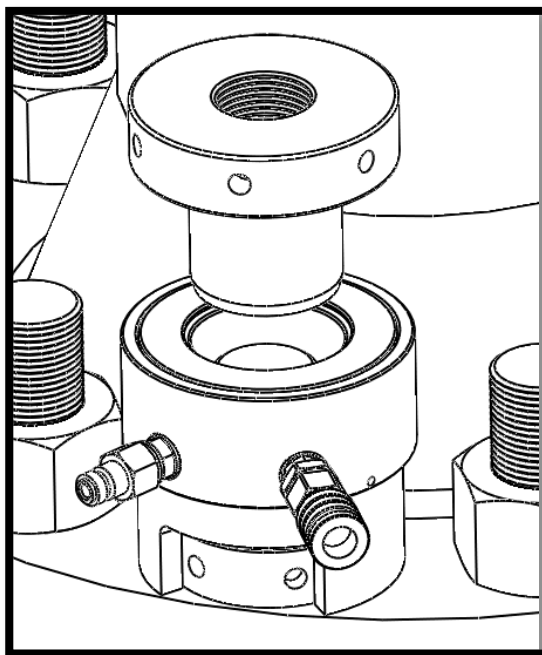


Figura 1-17 Montaje tensionador hidráulico

Fuente: Fields industry

- Conectar las mangueras hidráulicas al suministro, según muestra la figura 1-18. Antes verifique que la válvula de la bomba está abierta y la presión está en cero.
- Asegurar de que las conexiones estén bien apretadas y sin fugas.

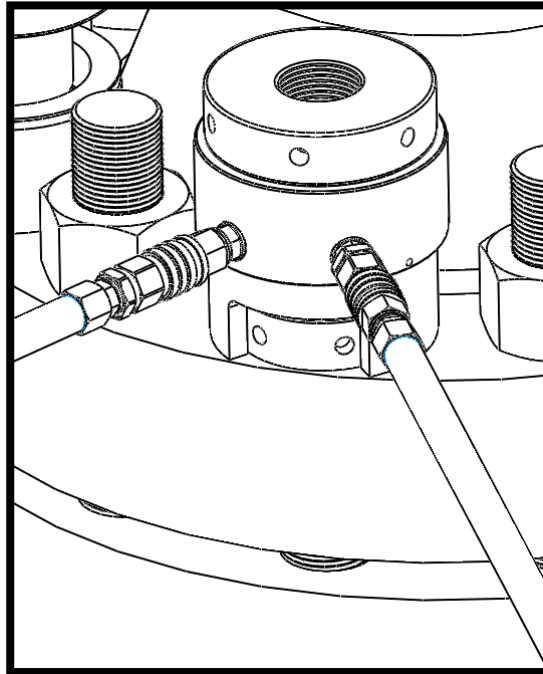


Figura 1-18 Montaje tensorador hidráulico

Fuente: Fields industry

- SECUENCIA DE CONECCION: Conectar las mangueras en la siguiente secuencia, como lo muestra la figura 1-19

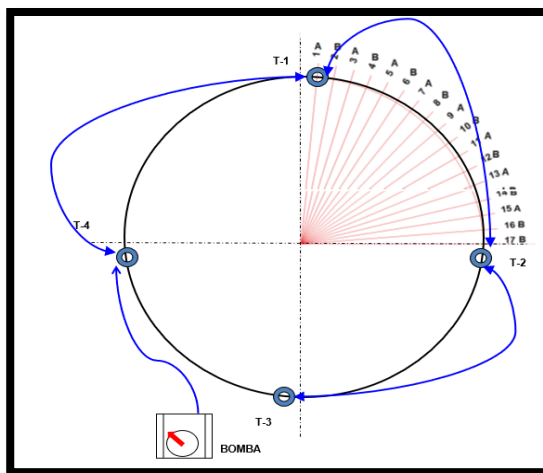


Figura 1-19 secuencia de conexión

Fuente: Fields industry

1.3.2. Factor de cruce de cargas por etapas. (CLF)

Cuando se tensiona usando menos tensionadores que el número total de pernos de la unión apernada, es necesario usar dos presiones para lograr la carga requerida, se refiere a ellas como la presión A y B. Estas dos presiones son necesarias a fin de compensar la pérdida de carga que sufre un perno ya tensado, al tensionarse el o los pernos adyacentes a él. El perno tensado pierde carga al aplicarse carga al perno adyacente.

Para compensar esta pérdida, se debe aplicar una carga extra al perno que inicialmente se tensa, la presión correspondiente a esta carga inicial se identifica como Presión A. De este modo cuando pierda carga, quedara con una carga residual igual a la carga requerida identificada como presión B.

Generalmente se recomienda usar como factor de cruce de carga

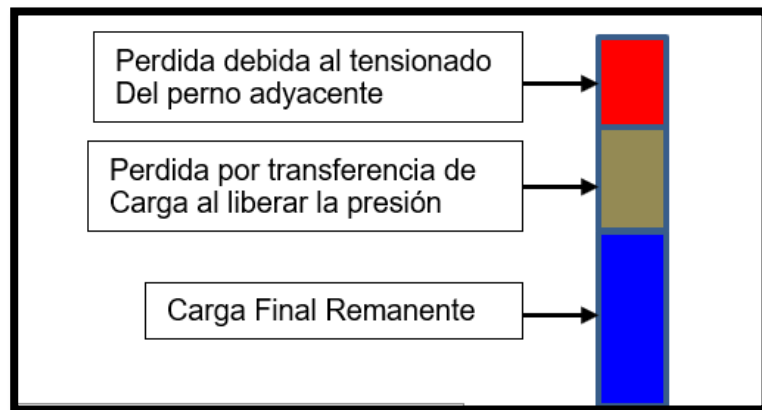


Figura 1-20 Factor cruce de cargas

Fuente: Fields industry

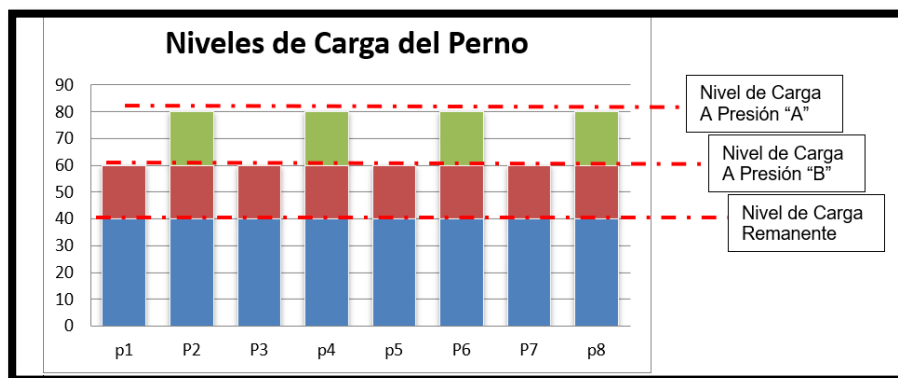


Figura 1-21 Nivel de carga de perno

Fuente: Fields industry

1.3.3. Factor de transferencia de cargas (LFT)

Cualquier tensionador de pernos, independiente de quien lo fabrique, mostrara una pérdida de tensión o fuerza transferida, al traspasar la carga desde el perno a la unión y a la tuerca, sea esta hexagonal o redonda. La pérdida de carga está en proporción al estiramiento del perno; esto es debido a muchos factores, tales como deflexión de los hilos, expansión radial de la tuerca y deformación en la zona de reacción a la tuerca en la pieza a unir. Debido a este fenómeno es esencial que se calcule una sobrecarga cuando se calcule la presión de tensionado, para alcanzar una carga residual conocida en el perno, se debe aplicar una carga extra de modo que el perno se relaje hasta la carga deseada. El factor de transferencia de carga puede ser exactamente calculada y es función directa del largo que se extiende del perno y del diámetro nominal del perno.

La Fórmula para calcularla es $LTF = 1.1 + (D / C)$

Donde:

D = Diámetro Nominal del Hilo (mm o in)

C = Largo de estiramiento del perno (mm o in)

Nota: Si el LTF calculado es menor que 1.1, use 1.1

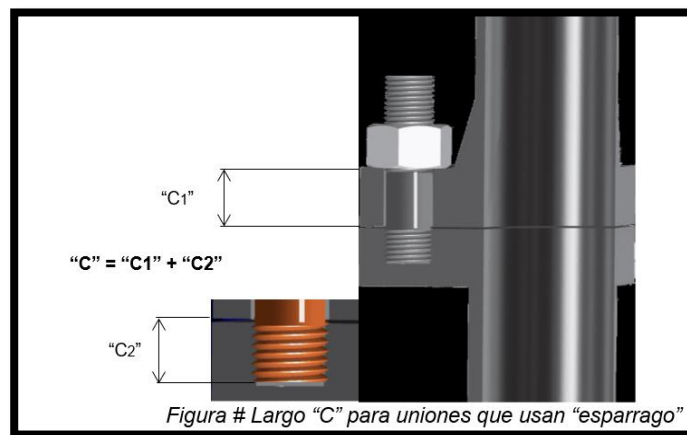


Figura 1-22 Factor de transferencia de cargas

Fuente: Fields industry

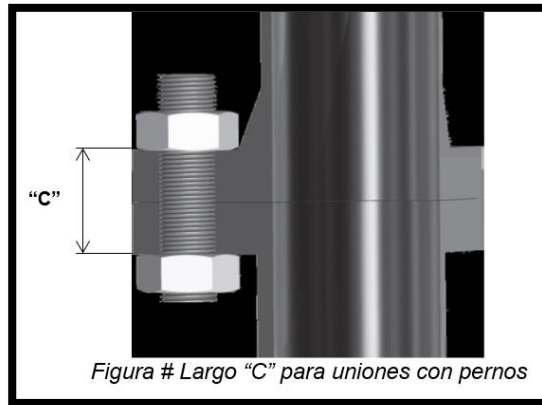


Figura 1-23 Factor de transferencia de cargas

Fuente: Fields industry

1.4. FINZALIZACIÓN CAPITULO

Es así como según todo lo señalado anteriormente, se entregan todas las aristas necesarias para comprender de manera óptima la teoría de operación y de una correcta puesta en funcionamiento de los procedimientos a estudiar, entregando una información completa y detallada que ayudará a comprender lo que entregarán los capítulos posteriores. Cabe destacar que este capítulo se generó en base al objetivo específico, cumpliéndolo a cabalidad en todos los puntos señalados, de igual manera es importante indicar que en el capítulo siguiente estas dos técnicas serán puestas en una comparativa, con el fin de poder reafirmar la precisión de cada una, se llevarán a conceptos operacionales reales, con toda la información entregada en el presente capítulo.

La comparativa señalada es realizada mediante un ensayo de ultrasonido, que será gestionado y realizado por la empresa AST industrial, que además de dedicarse a este tipo de procedimientos, es líder a nivel nacional con respecto a lo señalado, trabajar con ultrasonido es un tipo de ensayo no destructivo por lo que no es necesario poner en riesgo la vida útil de algún componente.

**CAPITULO II : ESTUDIO COMPARATIVO MEDIANTE USO DE
ULTRASONIDO.**

2 PRINCIPIOS DE LA UTILIZACION DE ULTRASONIDO PARA MEDIR ELONGACIÓN

En la industria hay una variedad amplia de maquina ultrasónicas para poder medir una gama de parámetros, por ejemplo, inspección de soldaduras, mediciones de espesores o pruebas de inmersión en fallas, pero el poder medir la elongación resultante en algún perno es algo relativamente nuevo en comparación con las aplicaciones tradicionales nombradas anteriormente. La medición ultrasónica de pernos proporciona un medio extremadamente preciso de determinar la elongación de este, siempre que se utilicen las técnicas correctas.

Un instrumento de ultrasonido mide la carga de un perno, midiendo la cantidad que este se estira, la elongación o estiramiento de un perno es proporcional a la carga, mientras que la carga es menor que el límite elástico o de fluencia, ya que si no sufriríamos deformaciones de este o en el peor de los casos la rotura.

Conociendo las propiedades físicas de un perno y midiendo la elongación de este es posible llegar a la carga que se le entregó, para esto como se comentó anteriormente es importante saber los datos numéricos del perno es decir diámetro, tipo de hilo y grado, para tener las medidas de referencia de este antes de ser apretado, es importante siempre poner el instrumento de medición en la misma posición para que no entregue mediciones erróneas que afecten en nuestro estudio.

2.1. BASES PARA LA UTILIZACIÓN DE MEDIDOR DE ELONGACIÓN ULTRASONICO

La necesidad que se tiene hoy en día de poder medir la elongación de un perno que está bajo tensión ya sea de torque o tensionado, es importante, además de conocer el comportamiento después de un respectivo tiempo en operación, por lo que actualmente disponer de equipos que permitan generar mediciones, de carácter no destructivo, como lo es el ultrasonido, está tomando primordialidad, si se habla más a fondo, esté tipo de ensayo se efectúa mediante el envío de ondas de señal ultrasónicas a través del largo del perno y midiendo de manera precisa el cambio de longitud entre un perno con carga,

tomando como referencia una medida de este sin carga, calculando de esta manera la elongación y por ende el esfuerzo físico en tiempo real.

Esta manera de medir elongación consta de tres partes que son relevantes para que sea llevada a cabo:

- Equipo o instrumento de ultrasonido: este es el encargado de suministrar la señal de ondas eléctricas que llegarán al perno en forma de ultrasonido.
- Cable coaxial: es el responsable de canalizar la señal eléctrica hacia el transductor.
- Transductor: este es el componente que está en contacto directo con la pieza a medir, la cual trabaja bajo un efecto piezoeléctrico, para transformar la señal eléctrica en señal mecánica y viceversa. Esta señal mecánica será entregada al perno de manera ultrasónica, cabe destacar que entre el transductor y el elemento a medir se tiene que verter un acoplante ultrasónico o ultragel, que es el encargado de ocasionar que el transductor se adhiera de manera correcta al elemento a medir.

Todas las piezas nombradas anteriormente se muestran en la figura 2-1



Figura 2-1 Partes medidor ultrasónico

Fuente: www.tecnitestndt.net

2.1.1. Efecto piezoeléctrico en transductor de ultrasonido

Cuando el instrumento ultrasónico envía el pulso eléctrico a través del cable coaxial hacia el transductor, este en su interior contiene un cristal que con el pulso eléctrico enviado este genera que el cristal vibre, es ahí cuando se da el paso de energía eléctrica a energía mecánica (según muestra la figura 2-2), esta energía viaja a través del elemento a medir a mediante ondas de ultrasonido, la señal llega hasta el final del cuerpo a evaluar, para que ocurra uno de los efectos más importante para que la medición se lleve a cabo la cual se denomina reflexión, está consiste básicamente en que la onda choca en la pared posterior del material a inspeccionar está se ve reflejada, finalmente la señal de ultrasonido con este fenómeno vuelve a viajar pero ahora en sentido contrario en dirección al transductor, lo que genera que el cristal interno de este comience nuevamente a vibrar, logrando de esta manera un diferencial de potencial y por ende sucediendo de esta manera que la energía mecánica sea traspasada a energía eléctrica, la cual viajará a través del cable coaxial hacia el equipo ultrasónico, el cual tomara está señal eléctrica para ser medida y evaluada posteriormente.

Según lo nombrado anteriormente se puede indicar que lo que mide un instrumento de ultrasonido es el tiempo en el cual viaja la señal a través del elemento a medir.

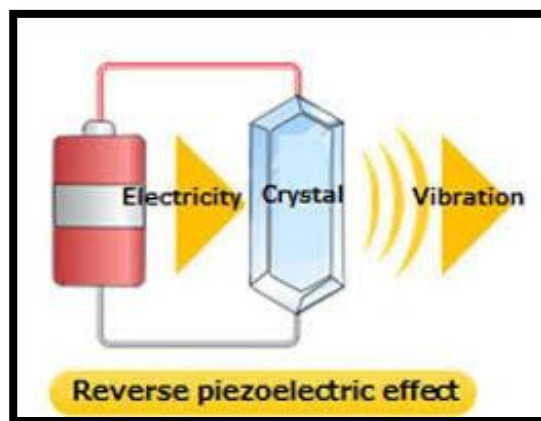


Figura 2-2 Efecto piezoeléctrico

Fuente: www.ecorfan.org

2.2. UTILIZACION MINIMAX V2.0

El MiniMax v2.0 de Dakota ultrasónico, es un instrumento el cual mide la elongación de un perno al cual se le efectuó alguna carga, básicamente mide el cambio de longitud que este tuvo. El MiniMax tiene muchas herramientas y funciones que nos ayudaran a medir la elongación de un perno de manera adecuada, en la figura 2-3 se mostrará la pantalla del medidor de ultrasonido a utilizar, indicando cada una de sus partes:

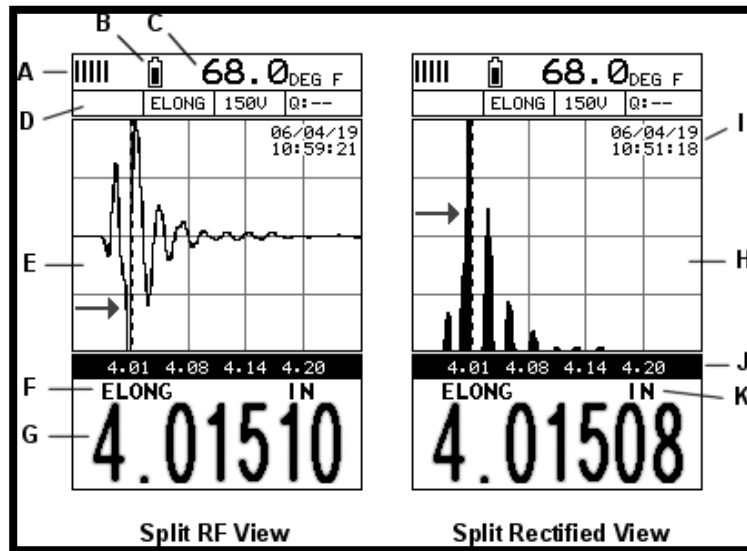


Figura 2-3 Pantalla MiniMax

Fuente: Manual MiniMax

A.-Medidor de repetibilidad y/o estabilidad: señala la confiabilidad de la medida de longitud del perno. Cuando todas las barras verticales están completamente visibles y el último dígito del valor de espesor digital permanece constante, el MiniMax realiza una medición consistente y confiable del mismo valor de manera constante.

B.-Icono de batería: Muestra el nivel de batería que tiene el instrumento.

C.- Temperatura: Señala la temperatura presente del sensor de temperatura o del valor introducido manualmente.

D.- Barra de estado de funciones: Indica las funciones actualmente habilitadas y en uso, siendo algunas de estas, alarma, cantidad, voltaje del pulsador y factor Q (correlación de ondas).

E.- Pantalla de escaneo de radiofrecuencia (pantalla dividida): Muestra la reflexión de la onda de sonido de radiofrecuencia que regresa al extremo opuesto del perno que se está midiendo. La vista de radiofrecuencia muestra los ciclos positivos y negativos.

F.- Cantidad: Señala la configuración de cantidad actual utilizada (alargamiento, carga, tensión, deformación o tiempo)

G.- Medición digital: Visualización en pulgadas, milímetros, KSI, KIPS, % de tensión, tiempo (nanosegundos).

H.- Pantalla de escaneo rectificado: Indica la reflexión de onda de medio ciclo positiva o negativa devuelta desde el extremo opuesto del perno que se está midiendo, según la polaridad seleccionada.

I.- Hora y fecha: Función para mostrar la hora, la fecha o ambas en la pantalla de medición principal.

J.- Marcadores de división de longitud /Escala de medición de longitud.

K.- Unidades: Señala las unidades de medida actuales que se utilizan (inglés, métrico).

2.3. REALIZACIÓN ESTUDIO COMPARATIVO TENSADO HIDRAULICO Y TORQUE HIDRAULICO

2.3.1 Ley de Hooke

Antes de realizar cualquier estudio con respecto a las técnicas a estudiar es importante destacar que estos principios se basan bajo la “Ley de Hooke”, pero para analizarla primero la veremos como concepto.

En su principio en el año 1660 Robert Hooke, estudio profundamente lo que es la elasticidad, con la capacidad que tiene un cuerpo para recuperar su forma y tamaño inicial, luego de ser sometido a esfuerzos de tracción o compresión generados por alguna fuerza externa, Su utilización principal se basa en resortes, pero puede ser utilizado en distintos

campos, ya sea alguno de ellos, el área industrial, automotriz, construcción, arquitectura y sismología, este tipos de estudios como los de R. Hooke desarrollaron un avance significativo e importante para la ciencia de aquel siglo y se siguen utilizando en la actualidad.

Esta ley hace referencia que la deformación elástica que sufre un cuerpo es proporcional a la fuerza que produce tal deformación, siempre y cuando no sobre pase lo que es el límite elástico o de fluencia, esto hace referencia a que un cuerpo mantiene distintas fases de carga, la primera es la zona elástica, esta fase tiene como culminación el límite de fluencia, es decir que si se quitase la carga aún puede volver a su estado inicial, la segunda zona es la zona plástica-elástica, en conjunto de la zona plástica, en estas zona las deformaciones son irreversibles , es decir , no podrá volver a su estado inicial (antes de la carga), y la zona final es la zona de rotura, que en este caso se da la rotura por exceso de carga donde ya el cuerpo no es uno si no que dos. Cada una de las zonas se verá ilustrada en la Figura 2-4

Cabe destacar que la ley de Hooke habla de cuando un cuerpo puede volver a ser de su tamaño y forma inicial (antes de la carga), entonces se pudiese inferir que la Ley de Hooke se cumple solo en la zona elástica, cuando el cuerpo llega a la zona elástico-plástica o a la ruptura, se dejaría de cumplir la ley de Hooke, ya que como se comentó anteriormente el cuerpo perdería la propiedad de poder volver a su tamaño y forma inicial. (según muestra la figura 2-4)

En este trabajo de titulo la matriz principal son los pernos por lo que la Ley de Hooke se comporta de la misma manera de cómo se comporta con un resorte (principal hipótesis de la ley), es decir mantiene las mismas zonas y con los mismos comportamientos, pudiendo llegar a la rotura en el peor de los casos.

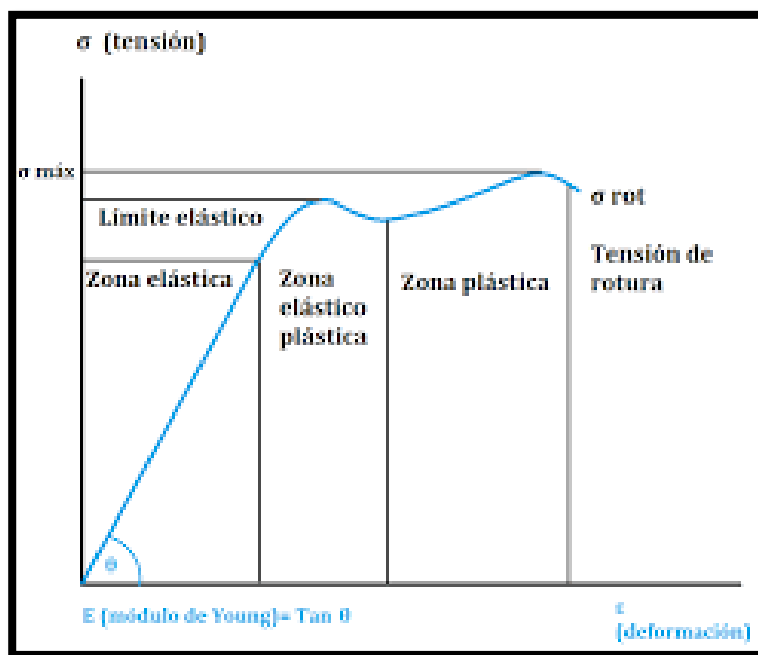


Figura 2-4 Comportamiento zonas de Ley de Hooke

Fuente: <https://ecuacionde.com/hooke/>

Para poder comparar la efectividad del tensionado hidráulico y torque hidráulico, esto se realizó comparando la variable de elongación la cual fue medida con el MiniMax, es por eso que se solicitó colaboración a empresa AST industrial, la cual gentilmente puso a disposición, un medidor ultrasónico MiniMax, tensionadores y llaves de torque hidráulico, además de un banco de prueba con 4 pernos grado 5, las cuales cuentan con el mismo largo (100 mm) pero medidas distintas, M27x3, M30x3, M36x3 y M39x3, los cuales todos fueron torqueados y dos fueron tensionados (M30x3 y M36x3), debido a no contar con tensionadores para los demás pernos, se calculó torque y tensionado respectivamente, además de la elongación que estos debiesen tener con el valor de carga entregado.

Si bien se indica que cuando un perno es lubricado, el factor de la tuerca debería ser dado por el fabricante del lubricante, en el contexto que son hechos estos cálculos es con pernos no lubricados, por lo que los factores de la tuerca están en rangos de 0,3 a 0,44, esto se define en las condiciones de trabajo en el cual se genera el procedimiento, por lo cual queda a libre elección del operador, en este caso se utilizó 0,3 para que los valores no se vieran tan aumentados a lo que podría llegar a ser la realidad.

Para poder calcular las variables necesarias, se utilizó el “Introduction to the Design and Behavior of Bolted Joints” de John H. Bickford y la norma ASME “PCC-1-

2022”, la cual indica los parámetros necesarios para poder calcular de manera adecuada todo lo relacionado con apriete de pernos.

Para calcular torque y tensionado se utilizó la siguiente formula:

2.3.2. Formula Torque

$$T = KDF/12$$

Figura 2-5 Formula de torque

Fuente: ASME PCC-1-2022

Donde:

T: corresponde a la resultante de torque

K: factor del perno, utilizando 0,3 ya que es un perno no lubricado

D: diámetro nominal del perno

F: Fuerza aplicada, la cual se calcula con la siguiente formula:

2.3.3. Formula de Fuerza

$$F = A_s \sigma_y P_w$$

Figura 2-6 Formula de Fuerza

Fuente: ASME PCC-1-2022

Donde:

σ_y : es el límite mínimo de elasticidad el cual para los pernos grado 5 es de 81.000 Psi

$P\%$: es el porcentaje de precarga que se le aplicara a los pernos, la cual es de un 50% del límite mínimo de elasticidad

A_s : área de tensión de tracción de la rosca, la cual se obtiene mediante la figura 2-7 que es la que se muestra a continuación

Bolt Size, Basic Thread Designation [Note (1)]	Root Area		Tensile Stress Area	
	mm ² [Notes (2), (3)]	in. ² [Note (4)]	mm ² [Notes (2), (5)]	in. ² [Note (4)]
M12 × 1.75	72	0.1122	84	0.1307
M14 × 2	100	0.1546	115	0.1788
M16 × 2	138	0.214	157	0.243
M20 × 2.5	217	0.336	245	0.379
M22 × 2.5	272	0.422	303	0.470
M24 × 3	313	0.485	353	0.547
M27 × 3	414	0.641	459	0.712
M30 × 3.5	503	0.780	561	0.869
M33 × 3.5	629	0.975	694	1.075
M36 × 4	738	1.144	817	1.266
M39 × 4	890	1.379	976	1.513
M42 × 4.5	1018	1.578	1 121	1.738
M45 × 4.5	1195	1.852	1306	2.024
M48 × 5	1343	2.082	1473	2.283
M52 × 5	1615	2.504	1758	2.725
M56 × 5.5	1863	2.887	2030	3.147
M64 × 6	2467	3.824	2676	4.148
M72 × 6	3222	4.994	3460	5.362
M80 × 6	4077	6.319	4344	6.733
M90 × 6	5287	8.195	5591	8.666
M100 × 6	6652	10.31	6995	10.84

Figura 2-7 Tabla H-1 Hilos métricos

Fuente: ASME PCC-1-2022

Para calcular el torque y tensionado se utilizaron las mediciones en milímetros del apartado de “tensile stress área” ya que para el tensionado es la más adecuada, ya que toma el área del perno sometida a tensión, por lo tanto, se calcularon todas a base del mismo apartado, cabe destacar que esta tabla filtra por los diámetros de los pernos los cuales salen en la parte izquierda de la tabla.

Para calcular elongación se utilizó la siguiente formula:

2.3.4. Formula elongación

$$\Delta L = \frac{FL}{EA}$$

Figura 2-8 Formula de elongación

Fuente: Libro Introducción al diseño y comportamiento de uniones atornilladas de John H. Bickford

Donde:

ΔL : Cambio de longitud (mm o in)

A: Área de sección transversal (mm² o in²), dato proporcionado de figura 2-7

L: Longitud de la sección (mm o in), en este caso 100 mm o 3,94 in

E: módulo de elasticidad (psi o GPa)

F: Fuerza de tracción aplicada (lb o N)

La tabla 2-1 muestra los valores entregados según las fórmulas que se mostraron anteriormente.

						Nut Factor	0,3		
	d mm	d in	A mm ²	A in ²	Fuerza lbs	Torque lbs*pie	DL (mm) (alargamiento)	DI max	DI min
M27x3	27	1,063	459,4	0,712	28.839	766	0,140	0,182	0,098
M30X3	30	1,181	580,4	0,900	36.435	1.076	0,140	0,182	0,098
M36X3	36	1,417	864,9	1,341	54.294	1.924	0,140	0,182	0,098
M39X3	39	1,535	1028	1,593	64.533	2.477	0,140	0,182	0,098

Tabla 2-1 Valores calculados

Fuente: Fabricación propia

En esta tabla (tabla 2-1) se muestran todos los datos importantes para llevar a cabo la prueba de ultrasonido, en los datos destaca la fuerza del tensionado que esta expresada en libras, el torque a aplicar al perno en libras*pie y el alargamiento o elongación (DI mm) con su respectiva dispersión del 30% (DL max, DL min), ya que se cuenta con los datos necesarios para poder generar la prueba comparativa.

2.3.5. Prueba de Torque

Se da inicio con torque, donde se cargaron todos los pernos indicados, con el torque entregado en la tabla 2-1 que está anteriormente, con su respectiva precarga y utilizando todos los componentes de manera óptima, como se muestra en las imágenes.



Figura 2-9 aplicación torque hidráulico

Fuente: AST industrial



Figura 2-10 aplicación torque hidráulico

Fuente: AST industrial

Dando como resultado lo señalado en la tabla 2-2, que muestra los valores de elongación a los pernos que se le aplico torque.

	LARGO INICIAL	ALARGAMIENTOS MEDIDOS POR ULTRASONIDO					\bar{x} (mm)
	Largo Ultrasónico	1 (mm)	2(mm)	3(mm)	4(mm)	5(mm)	
M27x3	206,483	0,383	0,397	0,381	0,387	0,379	0,384
M30X3	208,047	0,383	0,265	0,286	0,271	0,284	0,280
M36X3	205,891	0,384	0,398	0,406	0,406	0,39	0,398
M39X3	204,995	0,327	0,302	0,354	0,334	0,393	0,338

Tabla 2-2 Valores de alargamiento con carga torque según MiniMax

Fuente: Fabricación propia

En la tabla 2-2, se muestra inicialmente el largo inicial, que es una medida que toma el MiniMax como referencia, cabe destacar que esté largo inicial no es el largo nominal del perno y se mide antes de aplicar la carga, las casillas siguientes muestran los resultados entregados luego de 5 mediciones hechas por el MiniMax a cada uno de los pernos, mostrando finalmente el promedio de 3 de ellas, dejando fuera el valor máximo y el valor mínimo (en rojo) para un cálculo óptimo de este, el resultado indica que los valores de alargamiento son superiores a los entregados en los cálculos (tabla 2-1).

2.3.6. Prueba de tensionado

En el tensionado la prueba fue distinta, ya que solamente se contaba con dos tensionadores, los cuales eran de M30 y M36, por lo que se pudo aplicar el ensayo a estos pernos solamente, se tensionaron según el paso a seguir, con la respectiva precarga y el respectivo valor de fuerza entregado en la tabla 2-1, y evaluándolo con el mismo valor de alargamiento que se evaluó el torque, se tomaron todas las medidas de seguridad

necesarias para poder llevar a cabo esta prueba de la manera óptima, según muestran las siguientes imágenes.



Figura 2-11 Uso tensionador hidráulico

Fuente: AST industrial

Posterior a eso se generó la prueba de ultrasonido, y al cual como se hizo en el torque, mediante el MiniMax, siguiendo el correcto procedimiento, para entregar valores de buena manera. Se midió con el MiniMax según muestra la figura 2-12, antes de aplicar carga y posterior a aplicar la carga, para obtener un valor de alargamiento preciso.



Figura 2-12 Utilización MiniMax

Fuente: AST industrial

Los valores de alargamiento entregados por el MiniMax fueron las que se muestran en la tabla 2-3.

	LARGO INICIAL	ALARGAMIENTOS MEDIDOS POR ULTRASONIDO					
	Largo ultrasónico	1(mm)	2(mm)	3(mm)	4(mm)	5(mm)	\bar{x} (mm)
M30X3	208,059	0,152	0,159	0,156	0,159	0,166	0,158
M36X3	205,679	0,201	0,184	0,182	0,185	0,181	0,184

Tabla 2-3 Valores de elongación con carga de tensionado según MiniMax

Fuente: Elaboración propia

Al igual que el torque, se tomó un valor de largo inicial del perno, el cual es un largo de referencia que toma el instrumento, que como se nombró anteriormente está prueba se generó en dos pernos por falta de instrumentos de tensionado, al tomar las medidas se eliminó el valor máximo y el valor mínimo de cada perno, para poder sacar un promedio más adecuado.

Se puede inferir que los valores de elongación medidos con el MiniMax dieron más cercanos a lo calculado en la tabla 2-1, por lo que la precisión de este componente es de alta frecuencia, siendo así uno de los más efectivos al momento de dar apriete a algún perno de carácter crítico

2.4. FINALIZACIÓN CAPITULO

Es así como en este capítulo se cumplieron los puntos señalados en el objetivo específico, generando el ensayo señalado, el cual es el óptimo para poder saber la carga que se aplica a algún perno sin tomar en consideración las condiciones externas, ya que de lo contrario se alejaría del enfoque real de este estudio, es importante verificar la carga real que se aplica a la hora del apriete sin que sean sometidas a condiciones operacionales ya que éstas no son finitas, Por lo que un ensayo de ultrasonido calza perfecto en el perfil buscado, entregando resultados óptimos a base de tecnología de última generación, enfocando las primicias en las herramientas más que en el perno.

Cabe destacar que existen muchas maneras de evaluar la carga de un perno, ya sea por cizalle, pandeo, fatiga, etc. Pero para evaluar ese tipo de ensayos es necesario crear un ambiente necesario para que estos se lleven a cabo, de igual manera las cargas generadas por las herramientas no son efectivas ya que actúan otras fuerzas sobre el perno, enfocándose en la fuerza secundaria más que en el aplicado por las técnicas a estudiar, además es primordial generar un ensayo que sea de carácter no destructivo con el fin de no disminuir la vida útil de algún recurso facilitado por la empresa gestora.

En el capítulo posterior, se analizarán los resultados obtenidos en el ensayo de ultrasonido generado por AST industrial, en el cual se observará la precisión de cada una

de las herramientas, dando así un veredicto con respecto a lo señalado en el presente capítulo.

Además, se generará un análisis con el fin de poder verificar que opción es más rentable con respecto a los costos, si arrendar la maquinaria o simplemente inclinarse por la adquisición permanente de estos instrumentos. Cabe destacar que este análisis se generó con valores reales facilitados por Field industry y por AST industrial.

CAPITULO III: ANALISIS DE VALORES Y OPINIONES DEL ÁREA INDUSTRIAL

El estudio generado en el capítulo anterior, entrego las aristas necesarias para poder identificar cuál de los dos procedimientos a estudiar son más precisos a la hora de llevarlos a cabo, dando como resultado que el procedimiento de tensionado hidráulico es más exacto, ya que los valores de alargamiento medidos con ultrasonido fueron más cercanos a lo que entrega el valor calculado en la tabla 2-1, para ser específico el valor de dispersión máximo calculado es de 0,182mm, dando el valor promedio más alto medido en el procedimiento de tensionado es de 0.184mm , elevándose solo un 1,1% del valor de dispersión máximo, paralelamente el procedimiento de torque hidráulico entregó valores sumamente elevados que se escaparon totalmente a los calculados, ya que los promedios de medición de alargamiento fluctuaron entre 0,280mm y 0,398mm, elevándose más del 50% del valor de dispersión máximo esto nos afirma la poca precisión de esta.

En la industria, se puede llevar a cabo estos procedimientos de dos maneras, adquiriendo el equipo de manera permanente o arrendándolo por jornada, de igual manera esta última opción es variable, ya que también es posible contratar el servicio de trabajo completo, es decir que se disponga de las herramientas y de personal capacitado y calificado para poder ejecutar el trabajo, estas opciones mantienen distintos valores de costo, por lo que es importante tenerlos en consideración antes de tomar alguno.

Para ello se solicitó algunas cotizaciones de referencia a AST industrial y a Fields industry, en las cuales se viera reflejado los valores de compra de los equipos y accesorios, como las mangueras de alta presión y las respectivas bombas hidráulicas y paralelamente también los valores de arriendo de estos, incluyendo también el valor de H-H y valores de transporte y hospedaje, en el caso que se quisiese contratar algún servicio de trabajo completo.

3 ANALISIS DE VALORES

Para realizar este análisis se utilizaron las cotizaciones de las dos empresas nombradas anteriormente y se llevaron a tablas distintas las cuales sus valores están en dólares para simplificar los cálculos, para elegir los valores se hizo un promedio ya que las cotizaciones tenían valores distintos (las empresas no cobran lo mismo por los servicios), con el fin de llegar a un valor optimo, y no tan lejano a la realidad.

En primer lugar se generó una tabla con los valores de compra de cada uno de los componentes necesarios para poder ejecutar el trabajo, de los cuales, son el instrumento de apriete (tensionador y llave torque), dos mangueras de alta presión por cada equipo, y

Compra de los equipos		
Medida	1 pulgada	1"
Procedimiento	Tensionado	Torque
Equipo	2.190,00 USD	1.230,00 USD
Valor bomba alimentación	10.000,00 USD	8.000,00 USD
Valor manguera alta presión (856 C/U)	1.712,00 USD	1.712,00 USD
Costo adquisición	13.902,00 USD	10.942,00 USD

sus respectivas bombas alimentadoras, los resultados se ven en la tabla 3-1, cabe destacar que esta comparativa en forma de tabla, se generó con solamente con instrumentos de 1” de medida, ya que el tamaño es directamente proporcional con el precio.

3.1. COMPRA DE EQUIPOS

Tabla 3-1 Costos de adquisición de equipos

Fuente: Elaboración propia

Según la tabla 3-1, como se dijo anteriormente muestra los valores de adquisición de cada uno de los equipos, cabe destacar que las bombas alimentadoras de los dos procedimientos tienen distinto valor, la de tensionado es más elevada ya que necesita más presión hidráulica para poder funcionar, la sumatoria de los valores de cada uno de los accesorios para ejecutar tensionado dan como resultado 13.902 USD, paralelamente la sumatoria de las partes necesarias para dar torque hidráulico dan como resultado 10.942 USD, dando así una diferencia de 2.960 USD entre los dos métodos de apriete, esto nos indicaría que el tensionado no solamente es un procedimiento con mayor exactitud, sino que también mantiene un costo más elevado.

Cabe destacar que los equipos mantienen distintos valores según los proveedores ya que existen distintas marcas y calidades, de igual manera, para poder tener un cálculo óptimo se generó un promedio entre ellas, dejando un valor intermedio para poder evaluar los valores de buena manera y así simplificar la comparación. De igual manera también es importante nombrar que en temas de capacitación las empresas a estudiar por lo general lo incluyen en el valor de la compra del equipo, por lo tanto, no se tiene un valor establecido para esto, en consecuencia, este costo no se consideró en este análisis, ya que fue imposible llegar a un valor referencial.

Paralelamente los valores de arriendo de los equipos también son sumamente distintos ya sea por diferencia de proveedores o de calidad, por lo que se utilizó el mismo método para poder dejar un valor adecuado entre las dos empresas y entre sus distintas calidades de herramientas, lo que muestra la tabla 3-2 son los valores de arriendo de los dos procedimientos a estudiar con todos sus accesorios tal cual se mostró en la tabla 3-1.

3.2. ARRIENDO DE EQUIPOS

Arriendo de los equipos		
Medida	1"	1"
Procedimiento	Tensionado	Torque
Valor equipo por día	63,80 USD	36,90 USD

Manguera (40 USD C/U x día)	80,20 USD	80,20 USD
Bomba alimentadora	114,50 USD	91,20 USD
Costo arriendo	258,50 USD	208,30 USD

Tabla 3-2 Costos arriendo equipos

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 3-2 se muestran los valores de arriendo del equipo, cabe destacar que los valores señalados solamente abarcan los equipos, sin contabilizar la mano de obra y comparando instrumentos de la misma medida es decir de 1", no obstante, los resultados no dieron una diferencia muy abismante entre uno y otro, siendo así el valor de arriendo de tensionado hidráulico es de 258,50 USD, paralelamente el torque hidráulico dio un valor de arriendo de 208,30 USD, dando una diferencia entre uno y otro de 50,2 USD.

Si en otro caso, se quisiese contratar el servicio completo los valores son los que muestra la tabla 3-3, que se encuentra a continuación.

3.3. VALOR SERVICIO COMPLETO

Valor servicio completo	
Valor H-H (min 12) (min 2 técnicos)	1.080,00 USD
Transporte y alojamiento (depende zona) (por 2 técnicos)	3.490,00 USD
Valor total tensionado con mano de obra	4.828,50 USD
Valor total torque con mano de obra	4.778,30 USD

Tabla 3-3 Costos de servicio completo

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 3-3 se indicó los valores necesarios para poder llevar a cabo la contratación de un servicio completo de los dos métodos de apriete a estudiar en los cuales sale detallado el valor de hora hombre que es de 45 USD dólares la hora, eso multiplicado por las doce horas mínimas de contratación, por los dos técnicos que se necesitan para llevar a cabo el procedimiento de manera óptima, eso da un total de 1.080 USD por día, paralelamente quien contrate el servicio debe cancelar lo que es transporte de las herramientas y operadores, además del alojamiento de estos, este valor va a depender de la zona en la cual se tiene que desarrollar el trabajo, no obstante se consideró el valor mínimo que generalmente se cobra que es de 3.490 USD por dos operadores, estos valores señalados anteriormente se suman a los valores entregados en la tabla 3-2 de cada uno de los procedimientos a estudiar, dando un total para tensionado hidráulico de 4.828,50 USD dólares y para torque hidráulico un total de \$4.778,30 dólares, siendo así una diferencia entre un procedimiento y otro de 50,2 USD, esta diferencia es idéntica a la de solo arrendar las herramientas sin operadores, ya que solicitar trabajadores mantiene el mismo valor entre un procedimiento y otro.

Algunas premisas que podemos deducir en base a lo generado anteriormente, nos indican que dependiendo con que regularidad se necesite de la utilización de estas herramientas, es lo que definiría la manera la cual hay que adquirirlas, por ejemplo una empresa que realiza este tipo de trabajos una vez por mes, sería adecuado adquirir la herramienta de manera permanente, es decir, si se solicita un trabajo de tensionado con servicio completo (con operadores), desembolsaría un valor de 4.848,50 USD por el día, lo cual si lo contrata 3 veces en el año, desembolsaría un monto de 14.485,5 USD, simultáneamente adquirir esta herramienta tiene un valor de 13.902 USD, por lo que con 3 contrataciones ya tendría el dinero necesario para poder comprarla, incluso teniendo una ganancia de 583,5 USD lo mismo sucedería si este solicitaría un servicio de torque hidráulico, con 3 solicitudes del servicio completo, desembolsaría un total de 14.334,9 USD, lo que adquirir la herramienta de manera permanente tiene un costo total 10.942 USD, por lo que con lo que cancelaría por tres solicitudes ya tendría el dinero suficiente para poder adquirir la herramienta de manera permanente, incluso teniendo una ganancia de 3.392,9 USD, cabe destacar que si se comprase cualquiera de estas dos herramientas con sus respectivos accesorios, las empresas proveedoras capacitan al personal sin costo alguno, por lo que de igual manera el ahorro sería en gran magnitud.

En el caso contrario, si una empresa contrata este servicio completo una vez al año en trabajo de un día, con tensionado hidráulico, gastaría un valor de 4.828,50 USD cada año, lo que en el caso hipotético quisiese adquirir esta herramienta de manera permanente, utilizándola una vez al año se demoraría tres años en poder recuperar el dinero pagado, caso similar sería lo del torque hidráulico, que se demoraría el mismo tiempo en recuperar lo invertido, por lo tanto no es óptimo en este caso comprar la herramienta, si no que arrendarla de manera esporádica las veces que se necesite.

3.4. REALIZACIÓN VAC

Para poder llevar los costos a un análisis de manera más concreta es importante generar un análisis con todas las aristas entregadas anteriormente, por lo que se decidió que el camino más concreto fue generar un VAC (valor actual de los costos), se lograron inferir algunos datos que no eran nítidos en los datos entregados en la tabla anterior, como lo fue el costo por hora, se asimió que por hora los técnicos contratados lograban apretar 5 pernos como promedio, tomando el valor de arriendo con mano de obra, dividiéndolo por las 12 horas mínimas de contratación, fraccionándolo por los 5 pernos por hora, eso para torque y tensionado en la opción de arriendo, entregado el valor unitario de cada apriete. Paralelamente con la opción de compra de las herramientas, fue un poco distinto, el valor de adquisición de cada una de ellas, se dividió por la vida útil de la maquinaria (valor extraído de Servicio de impuestos internos) fraccionándolo en los 12 meses del mes y luego segmentando por los 30 días que mantiene un mes, eso nos da lo que una maquina pudiese llegar a suplir en un día de utilización.

Con lo indagado anteriormente las tablas con el cálculo de VAC fueron los siguientes:

Los costos de adquisición y arriendo fueron señalados en la Tabla 3-1 y 3-2 respectivamente en los cuales las unidades a producir fueron explicadas en el párrafo anterior, paralelamente la tasa de interés se tomó como referencia un 10% para ambas opciones y la vida útil fue extraída de Servicio de impuestos internos tomando la vida útil acelerada, para ser calculada en menos años, Además las unidades a utilizar al año fueron 3 para no alejarse tanto de la realidad.

Paralelamente el costo variable (CV) se tomó en consideración solo en el arriendo como lo dice la teoría, siendo en ese caso, el costo de arriendo sin mano de obra por la cantidad de veces a utilizar en un año (3), por otra parte, el costo fijo (CF) en el caso de la

opción de compra es del 10% del valor de adquisición y en la opción de arriendo es simplemente el valor de arriendo con mano de obra incluida, dando así como costo total (CT) la suma de costo variable y costo fijo.

Para calcular Valor actual (VA) se utilizó la fórmula “VA” en Excel, en el cual toma en consideración la tasa de interés, la veces por utilización al año y el costo total, con el fin de poder sacar el VAC que es la suma del valor actual con la inversión.

Con todo lo explicado anteriormente es posible calcular la carga anual equivalente (CAE), con la función en Excel “PAGO” tomando en cuenta, la tasa de interés, el número de utilidades y el VAC, dando así los resultados esperados para poder analizar de manera óptima.

Este mismo procedimiento fue generado para las dos técnicas a estudiar según muestra la tabla 3-4 y 3-5

Calculo VAC		
Tensionado		
Detalle	Costo adquisición	Costo arriendo
Costo equipo	13.902,00 USD	258,50 USD
Costo de operación		
Fijos	1.390,20 USD	4.828,50 USD
Costo unidades a producir	7,72 USD	80,48 USD
Tasa interés	10%	10%
Vida útil	5	5
Unidades a utilizar al año	3	3
Inversión	- 13.902,00 USD	- 258,50 USD
CV	-	775,50 USD
CF	1.390,20 USD	4.828,50 USD
CT	1.390,20 USD	5.604,00 USD
VA COSTOS OPERACIÓN	5.269,95 USD	21.243,57 USD
VAC (VA+ INVERSIÓN)	19.171,95 USD	21.502,07 USD
CAE(PAGO)	5.057,51 USD	5.672,19 USD

Tabla 3-4 VAC Tensionado

Fuente: Fabricación propia

La tabla 3-4 entrega los valores calculados en el VAC, demostrando que, con tan solo 3 utilidades al año, es más conveniente la compra de la herramienta ya que el costo a cancelar incluida la carga anual equivalente (CAE) es inferior a la de arrendar, por ende,

es sumamente rentable tomando en consideración la opción de comprar, ya que los valores de VAC y CAE respectivamente son de 19.171,95 USD y de 5.057,51 USD para la opción de compra en comparación a los valores de VAC y CAE de 21.502,07 USD y de 5.672,19 USD de la opción de arrendar la herramienta a estudiar.

Calculo VAC		
Torque		
Detalle	Costo adquisición	Costo arriendo
costo equipo	10.942,00 USD	208,30 USD
Costo de operación		
Fijos	1.094,20 USD	4.778,30 USD
Costos unidades a producir	6,08 USD	79,64 USD
Tasa interés	10%	10%
Vida útil	5	5
Unidades a utilizar al año	3	3
Inversión	- 10.942,00 USD	- 208,30 USD
CV	-	624,90 USD
CF	1.094,20 USD	4.778,30 USD
CT	1.094,20 USD	5.403,20 USD
VA COSTOS OPERACIÓN	4.147,88 USD	20.482,38 USD
VAC (VA+INVERSIÓN)	15.089,88 USD	20.690,68 USD
CAE(PAGO)	3.980,67 USD	5.458,15 USD

Tabla 3-5 VAC Torque

Fuente: Elaboración propia

En el VAC calculado en la tabla 3-5, según los mismos parámetros calculados en la tabla 3-4, utilizando un mínimo de 3 utilizaciones por año, se logra inferir de la misma manera que la opción de compra es la más asertiva al momento de querer utilizar este tipo de procedimientos en la industria ya que el VAC y CAE es de 15.089,88 USD y 3.980,67 USD para la adquisición en comparación a el VAC y CAE de 20.690,68 USD y 5.458,15 USD de la opción de alquilar la herramienta.

3.5. INTRODUCCIÓN A LA REALIZACIÓN DE UNA ENCUESTA

La técnica de la encuesta es ampliamente utilizada como procedimiento de investigación ya que posibilita recopilar datos de manera eficaz y rápida. Para realizar una encuesta se necesita saber primero cual es el significado de esta, en simples palabras es una recopilación de información de manera sistemática y estructurada, donde un indagador, realiza una serie de preguntas a una cantidad de personas para obtener datos deseados, cabe destacar que las respuestas se recopilan de manera individual para poder tener finalmente datos agregados, es decir deducir a base de las respuestas que intervengan en una investigación, actuando sobre una población o muestra ya determinada.

Esta información recopilada hace referencia a lo que las personas sienten, hacen opinan, esperan o desean. A diferencia de las demás técnicas de entrevista o de inducción de información, la particularidad de la encuesta es que a todos los encuestados se le realizan las mismas preguntas, en el mismo orden y en una condición similar, así las variaciones específicas se relacionan con las diferencias individuales entre las personas que han sido encuestadas.

Para quienes nunca hayan generado una encuesta, o quizás con poca experiencia en ello, puede ser un método complicado para poder obtener información, pero este no es el único problema, en estos casos, se generan encuestas sin saber que en realidad existen muchos tipos de encuestas para desarrollar, elegir el tipo correcto es de carácter primordial para poder obtener los resultados esperados. Es por ello que existen distintos tipos de encuestas, que se pueden diferenciar por sus objetivos, según la forma de aplicación, según la frecuencia de aplicación o según el tipo de pregunta.

3.5.1. Tipo encuesta según objetivos

se pueden identificar dos tipos de encuesta mediante los objetivos de la encuesta

- Encuesta descriptiva: Este tipo de encuesta busca como objetivo establecer un registro de las actitudes o situaciones que existen en una población en un momento específico, es decir, en el momento en el cual se lleva a cabo la encuesta.

- Encuesta analítica: A diferencia de la encuesta descriptiva, esta no busca crear un registro de algún problema, si no abordarlo mediante la explicación para poder encontrar una solución óptima a dicho problema.

3.5.2. Tipo de encuesta según la forma de aplicación

De acuerdo con el modo de aplicación se pueden distribuir en las siguientes formas:

- Encuesta online: Esta encuesta se basa en realizar un cuestionario mediante la utilización de internet (según muestra la figura 3-1), como medio de reparto, en la actualidad es el tipo de encuesta más utilizado, son fácil de diseñar y utilizar y además entregan al usuario un espacio y tiempo suficiente para expresarse de manera óptima, es menos costosa y los datos se pueden recoger y analizar de manera más rápida.



Figura 3-1 Encuesta online

Fuente: <https://theconversation.com/>

- Encuesta por correo: esta encuesta se refiere a la distribución de la encuesta mediante el sistema postal, que posterior a ser respondida sea enviada al remitente para su posterior registro, en la actualidad es más usual la encuesta por correo electrónico que de igual manera necesita la utilización de internet.

- Encuesta telefónica: consiste básicamente en gestionar una encuesta mediante llamada telefónica, en la cual el encuestador debe ir recolectando la información a medida que el encuestado responde.

- Encuesta en persona: consiste en realizar una encuesta cara a cara, teniendo interacción entre el encuestado y el encuestador, este último toma nota de las respuestas señalizadas por

el encuestado, cabe destacar que es más común que se entregue el cuestionario, donde el usuario responde para el posterior registro

3.5.3. Tipo de encuesta según la frecuencia de aplicación

- Encuestas transversales: En este tipo de encuesta, se ejecutan sobre una pequeña muestra de una población según muestra la figura 3-2, siendo así el encuestador, consigue un resumen rápido de lo que piensan los usuarios en ese momento, estas encuestas son cortar y están listas para responder y medir la opinión en una situación completa.

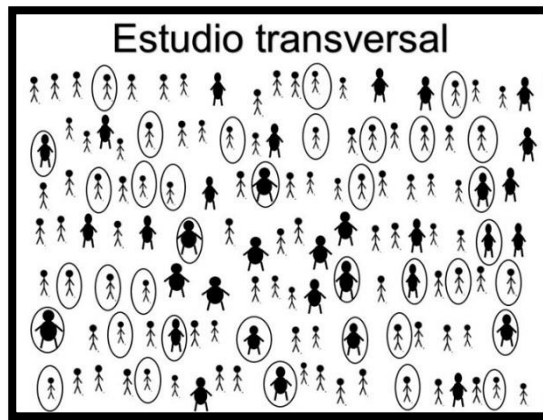


Figura 3-2 Encuesta Transversal

Fuente: <https://metodologiadelainvestigacion31.wordpress.com/>

- Encuesta longitudinal: en este formato de encuesta, ayuda al encuestador a recopilar información en un tiempo más prolongado, de las cuales existen tres tipos de este tipo de encuestas, de tendencia, de panel y de cohorte. La primera es utilizada para poder ver el cambio o transformación de la opinión de los encuestado a lo largo de un tiempo específico, además de comprender también la tendencia de cambio de los usuarios, el segundo tipo es una encuesta que es a muy largo plazo, para ser más específico un encuestador genera las mismas preguntas a los mismo usuarios a través de los años (según muestra la figura 3-3), este tipo de encuesta suele ser muy costosa. La tercera y última es un tipo de encuesta en el cual se agrupa a una cierta cantidad de persona por sus características y criterios similares para ser consultados.

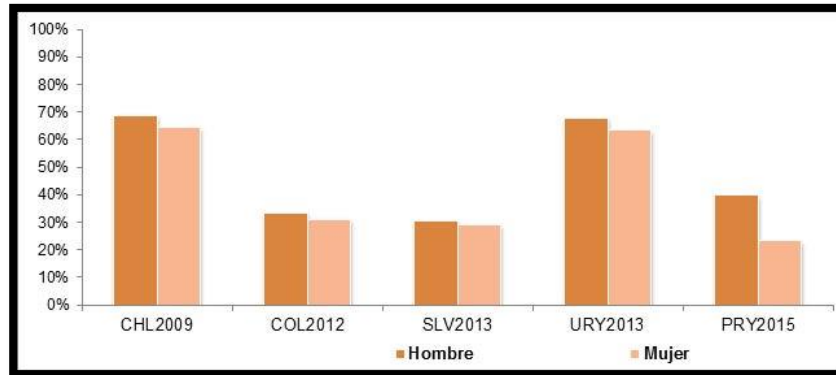


Figura 3-3 Encuesta Longitudinal

Fuente: <https://socialdigital.iadb.org/>

- Encuesta retrospectiva: En este modo de encuesta, los usuarios responden preguntas para informar sobre situaciones pasadas, con este tipo de cuestionario, el encuestador, puede recopilar información a base de la experiencia y de creencias pasadas de los encuestados, con este fin se puede evadir el coste y proceso que amerita generar una encuesta longitudinal.

3.5.4. Tipo de encuesta según el tipo de pregunta y respuesta

- Respuesta abierta: Este tipo de encuestas con respuesta abierta, entrega al usuario la libertad de poder expresar su respuesta según lo que el amerite pertinente, esto permite al encuestador, tener respuestas más profundas y también obtener respuestas las cuales no tenía planeadas, el único problema con este tipo de respuestas es la difícil forma de cuantificarlas por lo que se tiene que recurrir a algunos análisis de texto

- Respuesta cerrada: las encuestas con respuesta cerradas entregan la facilidad de cuantificar el cuestionario, ya que hace elegir entre opciones ya determinadas, la única contra a este tipo de encuesta es que muchas veces las respuestas no representan el pensamiento de todos los encuestados.

La figura 3-4 es una representación gráfica de las dos respuestas nombradas anteriormente

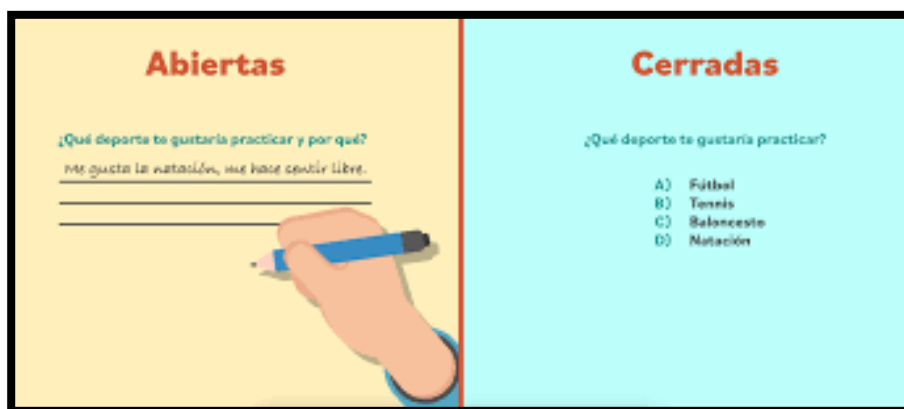


Figura 3-4 Representación respuesta abierta y cerrada

Fuente: <https://edu.gcfglobal.org/>

3.6. REALIZACIÓN ENCUESTA

Cuando se implementa un método y se estudian conceptos relativamente nuevos para la industria es primordial conocer la opinión de quien se encuentra diariamente con escenarios en los cuales se llevan a cabo la utilización de estos procedimientos, por ende, se creó una encuesta de carácter transversal, ya que estuvo dirigida a personas del sector industrial, además de ser retrospectiva ya que se pidió a los usuarios hablar de sus experiencias pasadas con estas herramientas. Esta encuesta consta de preguntas abiertas y cerradas relacionadas con las técnicas a estudiar, en los cuales se intentó llegar a la mayor cantidad de usuarios que la respondieran, siendo un total de 27 personas, en las cuales mostraron su conocimiento y noción sobre las herramientas y si las han utilizado o no, analizando también que tal fue su experiencia con el uso y manejo, conllevando a saber cuál sería el precio que pagarían por ella, los usuarios que la respondieron están adentrados en empresas como Finning Caterpillar, Komatsu, Detroit SA y en compañías mineras como lo son Antofagasta Minerals y Angloamerican, utilizando diariamente este tipo de procedimientos, de los cuales accedieron con gran disposición a entregar su opinión.

Este tipo de dinámicas enriquecen mucho al contenido de este trabajo de título, yendo más allá de lo teórico y de los ensayos prácticos, tomando todas las aristas necesarias para conocer estos procedimientos de manera adecuada.

3.6.1. Preguntas cuestionario y motivos de realización

1) ¿Conoces sobre el Torque hidráulico?

Motivo: Se realizó esta pregunta con el fin de detectar si los usuarios que trabajan en la industria conocían o tenían una pequeña noción sobre lo que es el Torque hidráulico.

2) Si la respuesta anterior es “Si”, ¿Has llevado a cabo este procedimiento?

Motivo: Se elaboró esta pregunta ya que es primordial conocer cuántos encuestados conviven o convivieron con esta técnica alguna vez en el área industrial.

3) ¿Qué tal fue la experiencia al utilizar este instrumento?

Motivo: Este tipo de pregunta es de carácter retrospectiva, ya que se consulta al usuario en base de su experiencia, como fue la utilización de esta herramienta, es importante destacar que los encuestados son los que han estado en contacto directo con esta herramienta.

4) ¿Se utiliza este método en tu lugar de trabajo?

Motivo: Saber si en las empresas importantes del rubro minero e industrial, utilizan el procedimiento de Torque hidráulico, esto nos daría un indicio si es que dichas empresas están al tanto con respecto a lo que es el Torque hidráulico.

5) Si la respuesta anterior es no, ¿Implementarías este procedimiento en tu lugar de trabajo?

Motivo: En el caso en que no se utilice en los lugares de trabajo de los encuestados, es importante saber si lo implementarían o no, siendo inferida la aprobación de la implementación una aceptación al procedimiento.

6) ¿Conoces sobre el Tensionado hidráulico?

Motivo: Generar esta pregunta al igual que el otro procedimiento a estudiar, se realiza con el fin de tener un registro de cuantos encuestados conocen lo que es el tensionado hidráulico o si tienen alguna noción sobre ello, no siendo necesario el llevar a cabo el

procedimiento basta con haber escuchado o leído una vez sobre este procedimiento para poder responder de manera afirmativa a esta pregunta.

7) Si la respuesta anterior es “sí”, ¿Has llevado a cabo este procedimiento?

Motivo: Saber si el encuestado a operado alguna vez la herramienta de Tensionado hidráulico en sus respectivos trabajos, es de importancia destacar que más que la empresa, el encuestado es el que está en contacto directo con esta herramienta, en el caso de haberlo llevado a cabo podría dar muchas aristas para este trabajo de título en las preguntas siguientes.

8) ¿Qué tal fue la experiencia al utilizar este procedimiento?

Motivo: Esta pregunta es de carácter retrospectiva, la cual tiene como finalidad que tal fue la vivencia de la utilización de este procedimiento en el pasado, con esto deducir y reafirmar el confort que tiene esa herramienta cuando es ejecutada.

9) ¿Se utiliza este método en tu lugar de trabajo?

Motivo: Conocer si en las principales empresas del rubro industrial y minero, se utiliza el procedimiento de Tensionado hidráulico, con esta pregunta se infiere si las empresas importantes del rubro conocen de lo que es este procedimiento, esto nos ayuda para poder reafirmar la poca divulgación de esta técnica.

10) Si tu respuesta anterior es no, ¿Implementarías este procedimiento en tu lugar de trabajo?

Motivo: En el caso en que no se utilice en los sectores industriales en los cuales los encuestados pertenecen, es importante saber si lo implementarían en ellos, siendo entendida la aprobación de la realización una aceptación a la técnica.

11) Si tuvieses que elegir entre los dos métodos, ¿Cuál elegirías? ¿Por qué?

Motivo: Tener un registro de cuál de los dos procedimientos es mejor para los encuestados, esto nos ayuda a inferir, si se tiene noción que la técnica de tensionado es una técnica más precisa y exacta al momento de apretar un perno

12) Si te comentaran que el Tensionado hidráulico es un método más exacto y preciso a la hora de apretar un perno con respecto al Torque hidráulico, pero de un valor más elevado, ¿Utilizarías este método sin importar el valor?

Motivo: Con esta pregunta se logra tener un registro sumamente importante, ya al indicar que el tensionado Hidráulico es de un valor más alto en comparación al Torque, pero más preciso y exacto, nos ayuda a inferir si a los usuarios les interesa más la precisión con alto costo o simplemente es más importante el bajo costo con una exactitud inferior.

13) ¿Te capacitarías sobre Tensionado hidráulico?

Motivo: Conocer si los encuestados mantienen algún interés por adentrarse en lo que es tipo de técnica relativamente nueva para la industria, deduciendo que con un poco más de propagación, esta técnica tendría un mayor énfasis.

14) ¿Te capacitarías sobre Torque hidráulico?

Motivo: Inferir cuantos usuarios quisieran profundizar sus conocimientos con respecto a esta herramienta, cabe destacar que esta herramienta es un poco más frecuente que la de Tensionado, por lo que la respuesta negativa, nos haría deducir una capacitación ya realizada en la persona.

15) ¿Preferirías comprar o arrendar este tipo de herramienta? ¿Cuánto pagarías por ello?

Motivo: En el mercado existe la opción de adquirir estas herramientas de manera permanente o de arrendarlas, saber cuál de las opciones elegirían los usuarios nos ayudaría a saber si tienen alguna noción de los valores que estas herramientas tienen, siendo así también notar una tendencia por la que los usuarios se inclinasen.

16) Si una empresa ofrece algunos de estos servicios, de manera completa, es decir, herramienta y personal que ejecute el trabajo, pero a un costo relativamente elevado, ¿Contratarías el servicio? ¿Por qué?

Motivo: es común en el rubro industrial la contratación de estos servicios completos, por lo que, es crucial conocer la opinión de los encuestados al respecto, reafirmando lo que se registró en la pregunta anterior ya que, si la respuesta es negativa, la tendencia a se inclinaría por la adquisición permanente de este tipo de herramientas.

Respuestas:

Dentro de todas las respuestas de los 27 usuarios que pudieron contestar esta encuesta fueron bastante variadas, y serán señaladas a continuación:

3.6.2. Respuestas de torque hidráulico

En la técnica de torque hidráulico, 25 personas de 27 dijeron conocer lo que es el procedimiento de torque hidráulico (gráfico 3-1), pero solo 24 personas alguna vez en su vida han utilizado esta técnica, y tan solo 20 usuarios dijeron haber tenido una buena experiencia con el uso de este procedimiento, mientras tanto los 4 restantes aseguraron haber tenido una práctica regular de esta herramienta. Paralelamente entre el total de las personas que respondieron, 22 aseveraron que este procedimiento es utilizado en sus respectivos lugares de trabajo, siendo 5 personas las que no los utilizan, pero garantizando que si lo implementarían en sus entornos laborales.

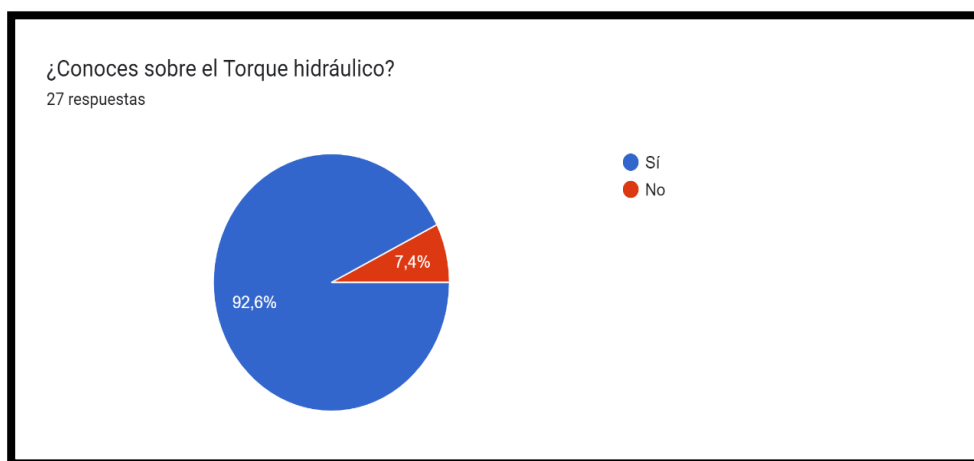


Gráfico 3-1 Conocimiento Torque hidráulico

Fuente: Google Forms

3.6.3. Respuestas tensionado hidráulico

En el área de tensionado hidráulico, 15 personas de los 27 en total, aseguraron tener algún conocimiento sobre la herramienta a estudiar según muestra el gráfico 3-2, de los cuales 12 de ellos habrían llevado a cabo el procedimiento de manera real, en consecuencia, el 100% de los que alguna vez la han utilizado esta técnica, aseveraron que fue una buena experiencia, paralelamente 13 del total de encuestado aseguran que este método es utilizado en sus lugares de trabajo, de igual forma el 100% de los restantes implementaría este método en su lugar de trabajo.

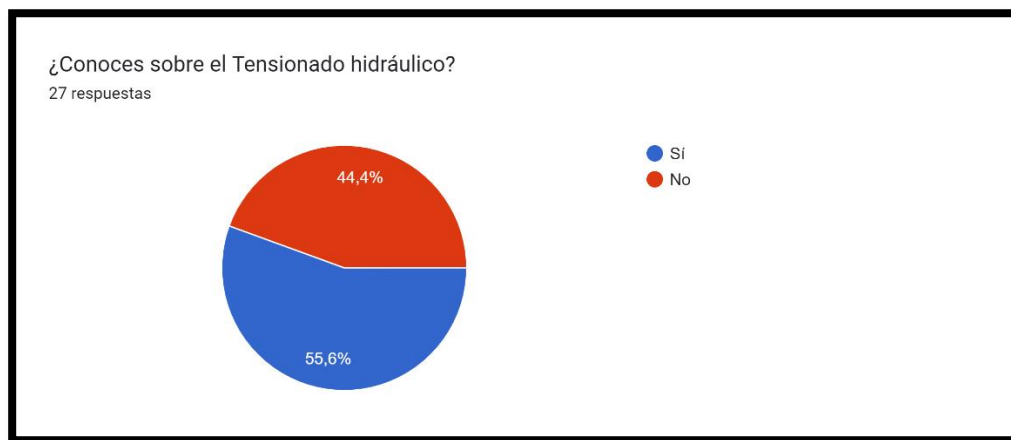


Gráfico 3-2 Conocimiento Tensionado hidráulico

Fuente: Google Forms

En la pregunta decimo primera se preguntó que si tuviesen que elegir entre los dos métodos, cuál sería el que eligiesen, 8 personas se inclinaron por el tensionado hidráulico, entre los justificantes estaba presente la precisión y seguridad que mantiene este procedimiento, además de la confianza que da al momento de cargar un perno, además de aseverar que a pesar de ser más caro que el torque, a largo plazo el ahorro producido en Hora Hombre termina compensando el gasto inicial, según lo que comentó un encuestado. Paralelamente, 12 usuarios optaron por la opción de torque hidráulico, siendo así algunas razones nombradas, el valor del torque (menor a la del tensionado), la practicidad de esta herramienta, pero la mayoría escogió torque hidráulico por el simple hecho de no tener noción sobre la opción contraria, demostrando así la poca difusión de esta técnica en el

área industrial, siendo así el motivo por el cual 7 encuestados no se inclinaron por ninguna de las opciones a escoger.

En la pregunta decimosegunda, se mencionó a los encuestados una situación verdadera, en la cual se indica la alta exactitud y alto valor del tensionado hidráulico por sobre el torque hidráulico, en la cual se consultó si elegirían el método de tensionado sin importar el valor, siendo 18 usuarios lo que eligieron un “sí” por respuesta y el restante inclinándose por la negatividad a la pregunta, según muestra el gráfico 3-3.

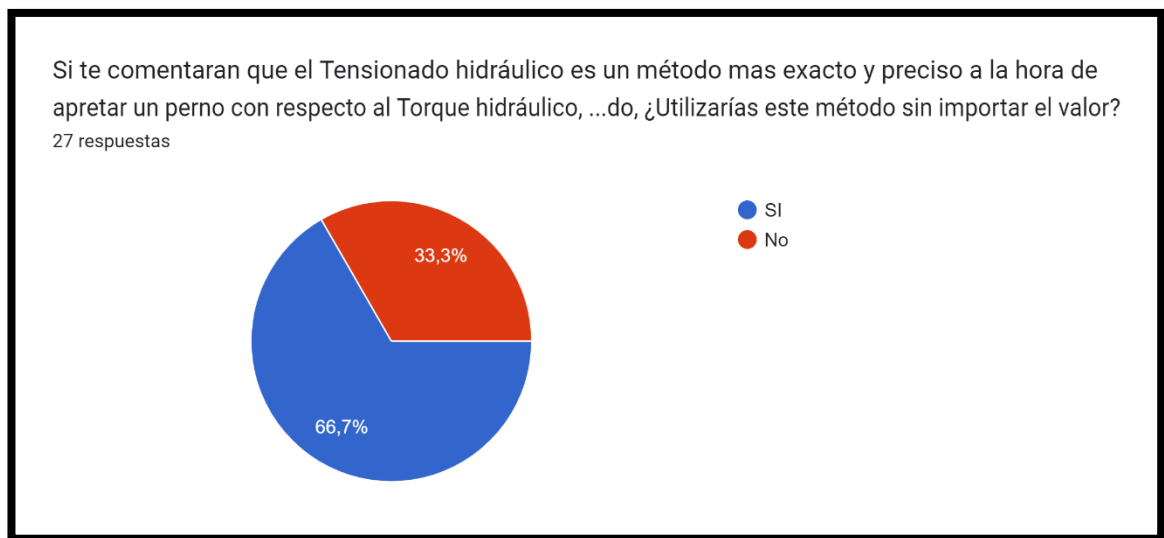


Gráfico 3-3 Utilización de Tensionado por sobre Torque

Fuente: Google Forms

Esta pregunta nos permite inferir, que el precio del procedimiento de tensionado es un causal importante por lo que los conocedores no utilizan generalmente esta técnica, dejando entrever que la eficiencia y precisión no es un punto determinante a la hora de escoger.

En las dos preguntas siguientes, se consultó si se capacitarían sobre los dos procedimientos a estudiar, teniendo un rotundo sí en las dos preguntas según muestra el gráfico 3-4 y gráfico 3-5, demostrando así el alto interés de la industria por el arte de cargar un perno, por lo que podríamos inferir, que si existiesen más personas capacitadas sobre tensionado hidráulico en la industria, esta técnica tendría un alto porcentaje de utilización y adquisición, ya que por lo general la capacitación sobre torque hidráulico está presente en la industria de manera más frecuente.

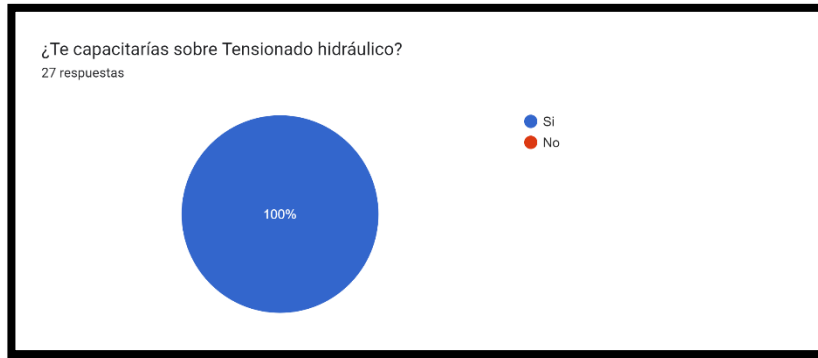


Gráfico 3-4 Capacitación sobre Tensionado Hidráulico

Fuente: Google Forms

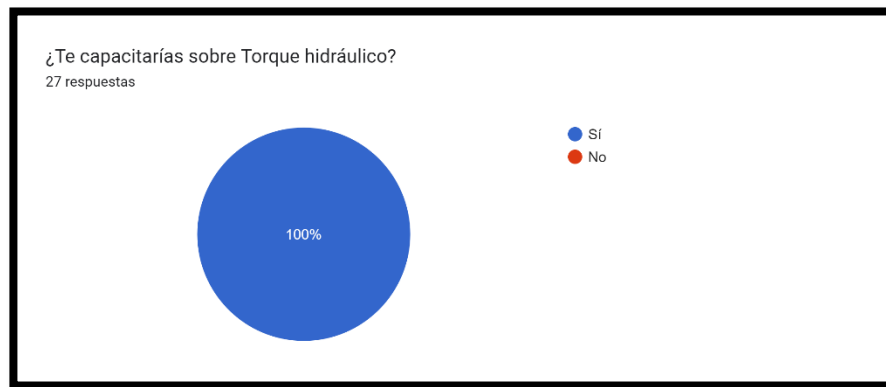


Gráfico 3-5 Capacitación sobre Torque hidráulico

Fuente: Google Forms

Cabe destacar, la importancia de conocer si los usuarios comprarían o arrendarían alguno de estos procedimientos, por lo que se generó dos preguntas en base a eso, teniendo que elegir entre las opciones de comprar o arrendar , además de indicar el precio el cual pagarían por ello, la última pregunta fue omitida por la mayoría de los encuestados, por el simple hecho de no conocer los valores de referencia que mantienen estos en el mercado, siendo el valor más caro de compra indicado de 50.000 USD en cambio al valor más bajo de 2.861,39 USD, en comparación a la opción arrendar, el valor más bajo es 114,46 USD y el más alto el 20% del valor de compra, aunque algunos usuarios señalaron comprar cualquiera de estas herramientas sin importar el costo de adquisición, esto también nos afirma el poco conocimiento en todos ámbitos de estos procedimientos. Paralelamente 8 usuarios se inclinaron por la opción de arrendar estas herramientas, misma cantidad de encuestados escogieron la opción de adquirir estas herramientas de manera permanente,

pero el restante no se inclinó por alguna opción, siendo algunos motivos, el contexto en el cual se utilice, ya que si fuese frecuente optarían por comprarla, pero en el caso contrario arrendarían, esto también llevo a nombrar a algunos usuarios, generar un análisis costo beneficio, el cual es una respuesta totalmente aceptable y técnica a la hora de tomar alguna opción sobre algún elemento crítico.

Finalmente en la pregunta culmine se recurrió al caso hipotético en el cual se tuviese que arrendar el servicio completo, para ser más específico, herramientas, accesorios y técnicos operadores de alguna de estas herramientas a estudiar, en la cual se indicó un alto costo de esto, y pidiendo justificación de la opción a elegir, de la cual 8 encuestados respondieron que si contratarían estos servicios, dentro de ello las excusas nombradas, son la certificación y calificación de los técnicos de las empresas operadoras, las cuales son más seguras y más certeras, uno de ellos indico que estos trabajo se realizan de 4 a 6 veces por mes, pero en elementos de carácter crítico, por lo que para su empresa era más importante la seguridad y el trabajo hecho de buena manera más que el dinero que se va a desembolsar, paralelamente un usuario nombro la seguridad que ejerce el contratar este tipo de servicios ya que se evitan accidentes de todos ámbitos, cabe destacar que trabajar con estas herramientas de alta presión significa una alta responsabilidad ya que el mal manejo de estas podría tener una consecuencia fatal para los operadores.

Paralelamente en la pregunta señalada anteriormente, hubo una cantidad de 9 encuestados que dieron una respuesta negativa con respecto a esta opción la cual dentro de las justificaciones está, la poca recurrencia con la que se generan estos procedimientos en algunas industrias, siendo un gasto no “viable” para estos, de igual manera otro porque a esta respuesta, es la preferencia por capacitar al personal y comprar la herramienta para generar el gasto una vez y tenerla disponible cada vez que se amerite la necesidad, simultáneamente un usuario comento que su empresa prioriza el “mínimo costo global”, por lo que por temas financieros es más económico para ellos arrendar el servicio completo.

Como en las preguntas escritas anteriores, hay encuestados que omitieron la respuesta ya que mencionan generar un análisis económico con respecto a lo que cuesta arrendar este servicio en comparación a comprarlo, respuesta valida con respecto a lo profesional.

Conocer las opiniones de gente que este inmersa en el rubro industrial, mantuvo un carácter importante al momento de poder gestionar este trabajo de título, siendo asi su opinión una ayuda gigante con respecto a lo que se vive en la realidad, cada uno de ellos entrego su punto de vista con respecto a los dos procedimiento a estudiar, señalando sus

preferencias y en algunos caso omitiendo por la poca información que se entrega sobre esto, es por eso que se destaca fuertemente, la propagación y capacitación de estas técnicas, teniendo como resultado la alza en la utilización de estos métodos, para el sector industrial, la cual evitaría muchos problemas que existen en la actualidad, disminuyendo también fallas no deseadas que tengan como matriz el apriete de pernos.

CONCLUSIONES

Se logra inferir en el presente trabajo de título, que la técnica de tensionado hidráulico es más precisa, exacta y segura en comparación al procedimiento de torque hidráulico, siendo así un método totalmente aceptable al momento de querer entregar un apriete efectivo en pernos que mantienen un carácter crítico para la industria, disminuyendo así las fallas en tiempos efectivos de trabajo y evitando así un funcionamiento defectuoso de estos componentes, caso contrario es con equipos que no son críticos, en este tipo de acontecimientos sería viable utilizar torque hidráulico ya que una probable falla por un apriete defectuoso no generaría altos costos para la empresa, por lo que no se necesita una alta exactitud.

En el primer capítulo se cumplió de manera notable el objetivo específico, ya que se dieron a conocer las directrices necesarias para llevar a cabo los procedimientos a estudiar, desde el concepto de cada uno de ellos, hasta el correcto uso, haciendo regir el objetivo específico número uno. Caso similar sucedió con el objetivo específico número dos, se cumplió a cabalidad lo dicho en él, gestionando un ensayo comparativo entre los dos procedimientos a estudiar, obteniendo los resultados necesarios para tener un veredicto contundente.

En costos es entendible que el valor de una herramienta de tensionado en conjunto de sus accesorios es considerablemente alto en comparación a la otra herramienta a estudiar, por lo que la inversión sería mucho mayor, pero a esto va la frecuencia con la que se utiliza este tipo de procedimientos, por lo que si fuese realmente habitual el uso de este procedimiento es bastante conveniente la adquisición de esta herramienta y sus accesorios de manera permanente, ya que en un corto plazo los beneficios monetarios serán superiores al valor de compra, es decir se tendrían ganancias de esta, siendo así una opción totalmente viable.

Caso contrario es la opción de poca utilización de esta herramienta, o su uso esporádico (inferior a 3 utilizaciones por año), en este tipo de acontecimientos es totalmente viable el arriendo de estas herramientas, ya que en caso de compra la recuperación del capital sería a largo plazo, pero todo depende del modelo de trabajo de la empresa, ya que, si en el día a día no suelen arrendar procedimientos y se inclinan por la opción de compra, también es una opción totalmente aceptada, es con ello que el tercer objetivo específico se cumplió de manera sólida, entregando los valores necesarios para poder conocer aún más lo que significa adquirir estas técnicas.

Se recomienda a las empresas que trabajan con pernos y elementos críticos, a tomar en consideración la implementación y capacitación de su personal con respecto a estas técnicas, ya su utilización ayudaría a disminuir fallas de carácter sorpresa por algo tan simple como una carga mal entregada a algún perno, siendo una opción mas que viable el tensionado hidráulico. Además, se hace un llamado a utilizar estas técnicas de manera responsable con el fin de poder resguardar la vida de sus operadores, ya que una mala utilización puede significar consecuencias de carácter fatal.

BIBLIOGRAFIA

[1] Bickford, J. H. (1981). An introduction to the design and behavior of bolted joints. M. Dekker.

[2] CHATAING, G. (2021, May 31). ¿Cómo USAR una llave dinamométrica ?. Rodcraft Pneumatic Tools - Professional Pneumatic Tools and Workshop Equipment Manufacturer. <http://www.rodcraft.com/es/news/Como-usar-una-llave-dinamometrica.html>

[3] Guidelines for pressure boundary bolted flange joint assembly. (2022). . American Society of Mechanical Engineers.

[4] MINI-MAX-DakotaUltrasonics.(n.d.). <http://www.dakotaultrasonics.com/manuals/MINIMAXv212man.pdf>

[5] Tensionadores Hidráulicos para un Apriete Preciso y seguro de pernos - evolution. Evolution Online. (2016, September 1). <https://evolution.skf.com/es/tensionadores-hidraulicos-para-un-apriete-preciso-y-seguro-de-pernos/>

[6] ¿Para qué sirve una llave de Torque Hidráulica?. AST Industrial. (2023, July 4). <https://ast-industrial.com/blog/para-que-sirve-una-llave-de-torque-hidraulica/>

ANEXO

PRECAUCIONES ESPECÍFICAS DE USO DE TENSIONADORES Y TORQUIMETROS HIDRAULICOS

-Un sistema de apriete de pernos hidráulicos, ya sea torque o tensionado, solo puede ser utilizado por gente capacitada y experimentada en las prácticas seguras de trabajo

- el cálculo de apriete de los pernos es una tarea que debe ser realizada por ingenieros calificados con el entrenamiento adecuado o personal con suficiente experiencia en tecnología de precarga de pernos. Esto se debe a que el apriete mediante herramientas de alta presión de los pernos es una técnica de carácter crítica, utilizada para asegurar la unión adecuada de las partes en una estructura o ensamblaje.

- Siempre se debe vestir con elementos de protección personal o equipos de seguridad como zapato de seguridad, guantes, lentes de seguridad, durante el procedimiento de apriete

- Asegure que todo el personal que trabaja en el entorno del lugar de trabajo, esté al tanto respecto a que se realizan trabajos con equipos presurizados a alta presión. Demarque el área de trabajo con cinta de peligro para asegurar que no hayan personas externas al trabajo de apriete en el área de trabajo.

- Nunca exceda el límite de presión máxima de trabajo del sistema. El límite máximo de presión de trabajo de los elementos esta estampada en el cuerpo de cada componente y de no estarlo restringir el uso del equipo, a menos que exista una certificación adosada.

- Nunca exceda la carrera máxima del pistón en el caso del tensionador. Una línea roja que indica la carrera máxima del pistón. La carrera máxima del pistón se encuentra estampado en el cuerpo del tensionador.

- Nunca se pare frente a la línea del eje del perno que se está tensionando, torqueando o en el proceso inverso. Una falla inesperada del perno puede resultar en lesiones a las personas o muerte. Fallas prematuras del perno puede transformar a la herramienta o el perno en un proyectil de alta velocidad. Alertar a todas las personas que trabajan en el área y la vecindad respecto de las consecuencias de la falla prematura del perno, antes que el trabajo se inicie.

- Solo se puede aproximar a los elementos de las herramientas presurizadas, cuando se ha verificado que la presión es estable en el sistema. Monitoree continuamente la presión de

la bomba. Si la presión no es estable, no se aproxime al sistema sin antes aliviar la presión a cero, luego investigue las causas de la pérdida de presión del sistema. Nunca revise el sistema cuando esta presurizado.

- Inspeccione el hilo del inserto de la herramienta, buscando signos de daño o desgaste en los hilos. Reemplace cualquier parte dañada. Asegure que existe un adecuado enganche entre el inserto hilado del instrumento y el perno a apretar o tensionar.

- Nunca intente desconectar un acoplamiento mientras esta presurizado.

- Antes de presurizar el sistema revise que cada manguera esta correctamente acoplada. Tirando físicamente el conector, determine que ambos conectores están correctamente instalados y unidos.

-Nunca presurice un acoplamiento macho desconectado. Un conector macho no está diseñado para soportar alta presión cuando esta desconectado. Presurizar un conector macho desconectado puede conducir a serias lesiones para las personas

- Revise que los pernos son efectivamente capaces de soportar la carga inicial del instrumento. Los tensionadores y torquímetros hidráulicos son capaces de romper los pernos si el material del perno no es lo suficientemente resistente para resistir la fuerza que aplica la herramienta.

-Los operadores de apriete hidráulico deben estar al tanto que la presión puede subir rápidamente, por lo que los operadores deberían estar preparados para aliviar la presión del sistema frente a cualquier emergencia

- El sistema presurizado nunca debe dejar de ser vigilado

- Toda investigación, mantención o trabajo de reparación de los elementos de apriete hidráulico se debe hacer con el sistema con presión cero.

- La presión de trabajo requerida debe ser menor que la presión máxima de las partes del sistema. Nunca exceda las presiones máximas del instrumento o alguno de los componentes del sistema de apriete hidráulico.

INSPECCIÓN DE BOMBA HIDRAULICA

BOMBA DE PRESION HIDRAULICA ACCIONADA MEDIANTE AIRE COMPRIMIDO.

- Verificar y comprobar que las conexiones de aire y mangueras estén en buenas condiciones, asegurar que no generan un riesgo para las personas o el resto de los equipos.
- Revisar que los conectores hidráulicos o acoples rápidos utilizados para la conexión de las mangueras, se encuentren limpios y sin daños que impidan la conexión.
- Revisar el manómetro medidor de presión hidráulica de la bomba asegurándose de que se encuentra en buen estado aparente y sin daño en su vidrio de protección, su carátula y escala de lectura.
- Revisar que el nivel del aceite hidráulico esté en el máximo permitido.
- Revisar que el filtro y regulador de la entrada del aire comprimido de la red se encuentre en buen estado y operativo.

MANGUERAS

- Verificar que estas se encuentren en buen estado sin cortes ni dobleces, sin filtraciones en el cuerpo, en los nipples y acoples de conexión.

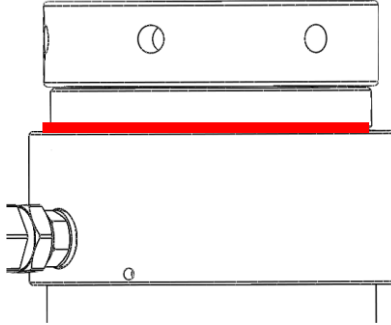
TENSIONADOR

- Revisar que todos los tensionadores a utilizar sean del mismo tipo y modelo entre sí, que se encuentren en buen estado, sin filtraciones, con sus conexiones hidráulicas limpias y operativas, tanto las de entrada como las de salidas. Así mismo, verificar que todas las piezas móviles estén sin daño aparente y en condiciones normales.

INDICADOR DE CARRERA MAXIMA

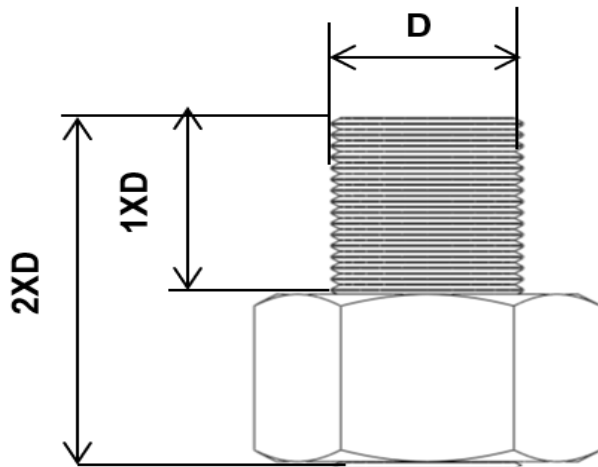
La máxima carrera del tensionador está indicada por una línea roja mecanizada en el pistón. Es importante monitorear continuamente la carrera del pistón durante la presurización. Si el indicador de carrera máxima se hace visible en cualquiera de los tensionadores antes de lograr la presión de tensionado, detenga la bomba inmediatamente,

apriete las tuercas y luego alivie la presión hasta cero. Gire el inserto con hilo del tensionador hasta que el pistón baje hasta la posición de cero carrera o recorrido. Reinicie el procedimiento de tensionado.



REVISIONES PRE PROCEDIMIENTO

- Inspeccione visualmente cada perno a tensionar por defectos en los hilos. Asegure que las tuercas giran libremente en el perno como también el inserto hilado del tensionador
- Asegure que salen suficientes hilos del perno fuera de la tuerca. Un mínimo de al menos un diámetro del perno es esencial como también que un mínimo de dos diámetros desde la base de la tuerca al extremo hilado del perno
- Verifique que los cálculos de tensionado están, incluido la presión y carga sobre el perno están disponible y que han sido revisados por un ingeniero calificado
- Asegure que el personal esta adecuadamente entrenado y que sigue rigurosamente las normas de seguridad.
- Asegure que el personal está al tanto de la presión máxima de trabajo y la carrera del pistón del tensionador, estos detalles están estampados en el cuerpo del tensionador.



Tensionado para aplicar la carga

-Asegure que todo el equipo de trabajo conoce la presión a la cual se tensionara el perno.
para aplicar la carga:

-Con el tensionador hidráulico, comenzar a aplicar gradualmente la carga hidráulica al equipo. Observando el manómetro para controlar la presión.

-Aumentar la presión de manera controlada hasta que se alcance la tensión deseada en el perno. Consultar las especificaciones técnicas para conocer la fuerza de apriete requerida.

-Verificar que el perno esté apretado correctamente según las especificaciones de la aplicación, si la carga disminuye debido a la relajación del material, ajusta la presión según sea necesario.

- Luego de seguir todos los pasos, se puede desmontar el equipo siguiendo los siguientes pasos:

- Despresuriza el equipo gradualmente y de manera segura, hasta que la presión sea igual a cero.

- Desconecta el equipo de la aplicación y retira la llave hidráulica.

