



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Título del trabajo:

ESTUDIO DE LOS REQUISITOS PARA UN ELEMENTO
CRÍTICO EN LA ELEVACIÓN DE UNA MÁQUINA
INDUSTRIAL

English title:

STUDY OF THE REQUIREMENTS FOR A CRITICAL
ELEMENT IN THE LIFTING OF AN INDUSTRIAL
MACHINE

Autor

Miguel Sampedro García

Directora

Ana Cristina Majarena

Grado en Ingeniería mecánica

Escuela de ingeniería y arquitectura 2024

RESUMEN

La empresa Atlas Copco centra su actividad principal en el ensamblaje de grupos electrógenos muy pesados que se transportan mediante su elevación con un gancho y considera que el pórtico que soporta la tensión de esta elevación ha de estudiarse en más profundidad.

El objetivo principal de este trabajo es establecer un criterio estandarizado para los requisitos de calidad del pórtico de elevación. Esto facilitaría la decisión de aceptación del departamento de calidad sobre la validez de un pórtico fabricado mejorando su productividad y evitaría potenciales accidentes por rotura de este elemento. Para cumplirlo, se realiza un estudio acerca de los requisitos de calidad del pórtico para definir las especificaciones que se han de solicitar al proveedor.

Dicho estudio se centra en analizar las variables importantes que se tienen en cuenta en el sector y en la empresa actualmente, como las propiedades mecánicas derivadas de la elección de materiales y las normas ISO más comunes para tolerancias y soldadura. Conociendo las generalidades del sector, se particulariza el estudio para Atlas Copco definiendo la normativa interna de tolerancias, la elección del material y la calidad de soldadura requerida.

Después, se profundiza en las normas ISO que tratan los defectos de las soldaduras y su cualificación utilizando un cálculo que proporciona un valor límite para cada tipo de defecto. Por otro lado, se obtienen requisitos como un plan de producción, la trazabilidad de las piezas o puestos de trabajo requeridos para la calidad de las soldaduras.

Para comprobar si las soldaduras, material, tolerancias y plegados cumplen con las normas previamente establecidas se selecciona una muestra representativa de los modelos y se les somete a ensayos destructivos y no destructivos (partículas magnéticas, macrografías, ensayos de tracción)

Se evalúan los resultados de los ensayos profundizando en los siguientes aspectos: un caso de discordancia respecto a los materiales que aparecen en el plano; una infracción de tolerancias en un modelo, que culmina en un cambio de proveedor; y los defectos detectados en las soldaduras, tanto superficiales como internos.

Tras la valoración de los resultados, se evalúa el impacto económico del estudio mediante el VAN, el payback y el TIR. El análisis compara los indicadores para dos escenarios donde la diferencia entre ambos reside en la siguiente hipótesis: *sin el estudio, el elemento habría fallado al cabo de 2 años provocando un accidente.*

La conclusión muestra que la inversión es rentable en términos económicos en ambos casos aunque la influencia de la hipótesis impulsa la rentabilidad notablemente.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, a mi tutora, Doña Ana Cristina Majarena, por el guiado y ayuda que me ha proporcionado durante estos meses para completar el TFG.

A la empresa Atlas Copco y sus empleados, agradezco la oportunidad de trabajar con datos reales y la colaboración y amabilidad que he encontrado siempre que he acudido a alguien. En especial a mi compañero Jesús Gracia, cuya ayuda fue fundamental para superar los problemas que iban surgiendo y al que he agotado con reuniones semanalmente durante 4 meses.

Agradezco a profesores y compañeros, que me han proporcionado los conocimientos suficientes para poder realizar y entender las investigaciones y los cálculos necesarios.

Y por último, a mis padres, cuyo apoyo incondicional a lo largo de mi carrera y años de estudio ha sido esencial para seguir adelante.

ÍNDICE

RESUMEN.....	2
ÍNDICE.....	4
1. PREFACIO.....	9
1.1 OBJETIVOS.....	9
1.2 ALCANCE.....	9
1.3 METODOLOGÍA.....	10
1.4 CONTEXTO.....	10
1.5 GLOSARIO.....	12
2. SITUACIÓN ACTUAL.....	13
2.1 EN EL SECTOR.....	13
2.1.1 MATERIAL Y PROPIEDADES MECÁNICAS.....	13
2.1.2 TOLERANCIAS.....	15
2.1.3 SOLDADURAS.....	15
2.2 EN LA EMPRESA.....	16
2.2.1 MATERIAL.....	16
2.2.2 TOLERANCIAS.....	16
2.2.3 SOLDADURAS.....	17
3. DEFINICIÓN DE LAS NORMAS Y REQUISITOS A CUMPLIR.....	19
3.1 DEFINICIÓN DE LAS NORMAS ISO.....	19
3.2 REQUISITOS Y CERTIFICADOS A SOLICITAR.....	20
4. PLANIFICACIÓN Y REALIZACIÓN DE ENSAYOS.....	24
4.1 SELECCIÓN DE MODELOS DE ENSAYO.....	24
4.1.1 ENSAMBLAJE.....	28
4.1.1.1 GRUPOS 1 Y 2.....	28
4.1.1.2 GRUPOS 3 Y 4.....	30
4.1.2 SOLDADURA.....	32
4.1.2.1 FASE 1.....	32
4.1.2.2 FASE 2.....	33
4.2 MODELOS SELECCIONADOS, RESUMEN.....	35
4.3 REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS.....	36
5. VALORACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	37
5.1 MATERIAL Y PROCESOS DE FABRICACIÓN.....	37
5.1.1 ENSAYOS DE TRACCIÓN.....	37
5.1.2 PLEGADOS.....	38
5.2 TOLERANCIAS.....	38
5.3 SOLDADURAS.....	40
5.3.1 DEFECTOS SUPERFICIALES.....	40
5.3.2 DEFECTOS INTERNOS.....	45
6. IMPACTO ECONÓMICO DEL ESTUDIO.....	47
6.1 INVERSIÓN EN EL ESTUDIO.....	47
6.1.1 SALARIO DEL TRABAJADOR.....	47

6.1.2 PRESUPUESTO PARA LOS ENSAYOS.....	47
6.1.3 RECURSOS DE ATLAS.....	48
6.1.4 SOFTWARE Y NORMATIVA ISO.....	48
6.2 VARIABLES QUE POTENCIAN EL RENDIMIENTO DE LA INVERSIÓN.....	49
6.2.1 FUTURO TIEMPO CONSERVADO.....	49
6.2.2 HIPÓTESIS CASO 2: ACCIDENTE EVITADO.....	51
6.3 ANÁLISIS DE LA RENTABILIDAD.....	51
6.3.1 VAN.....	51
6.3.2 TIEMPO DE AMORTIZACIÓN.....	52
6.3.3 TIR.....	54
7. CONCLUSIONES FINALES.....	56
BIBLIOGRAFÍA.....	57
ANEXOS.....	60
ANEXO I: INFRAESTRUCTURA DIGITAL DEL GRUPO ATLAS COPCO.....	61
ANEXO I.I: POWER BI.....	61
ANEXO I.II: BPCS.....	62
ANEXO I.III: WINDCHILL.....	64
ANEXO I.IV: STANDARD DE ATLAS COPCO - INDEX.....	66
ANEXO II: NORMATIVA INTERNA DE ATLAS.....	68
ANEXO II.I: EQUIVALENCIA DESIGNACIÓN ATLAS - ESPAÑOLA PARA ACEROS.....	68
ANEXO II.II: NORMA DE PINTURA ESFTRT0001 - ATLAS COPCO.....	69
ANEXO III: OTROS ASPECTOS EN RELACIÓN A LA CALIDAD.....	71
ANEXO III.I: EN EL SECTOR.....	71
2.1.4 TRATAMIENTOS SUPERFICIALES.....	71
2.1.5 COEFICIENTES DE SEGURIDAD.....	71
ANEXO III.II: EN LA EMPRESA.....	72
2.2.4 TRATAMIENTOS SUPERFICIALES; PINTURA.....	72
2.2.5 COEFICIENTES DE SEGURIDAD.....	75
ANEXO IV: TABLA DEFECTOS DE SOLDADURA Y END.....	77
ANEXO V: TABLA DE ELECCIÓN DE EXIGENCIAS DE CALIDAD.....	80
ANEXO VI: CÁLCULOS NECESARIOS PARA EL ESTUDIO ECONÓMICO.....	83
ANEXO VI.I: FUTURO TIEMPO CONSERVADO.....	83
ANEXO VI.II: VAN y TIR.....	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. ZBP que muestra baterías e inversor.....	10
Figura 2. Torres de iluminación HiLight modelo B6+.....	10
Figura 3. Contenedor QAS 1350.....	10
Figura 4. Conjunto motor alternador de un QAS 30.....	10
Figura 5. Curva esfuerzo-deformación típica [7].....	12
Figura 6. Ecuación del módulo de Young [8].....	13
Figura 7. Ejemplo de rotura frágil [6].....	13
Figura 8. Ejemplo de rotura dúctil [6].....	13
Figura 9. Ecuación de variación de la energía libre [9].....	13
Figura 10. Ecuación del potencial estándar de la celda [9].....	14
Figura 11. Extracto de la norma 6885-K [28].....	17
Figura 12. Fragmento de la tabla del Anexo IV.....	19
Figura 13. Fragmento de la tabla del Anexo V.....	20
Figura 14. Tabla Motalt, en Power BI.....	23
Figura 15. Cuadro resultante de la primera criba.....	24
Figura 16. “Beam” de elevación soldada en grupo electrógeno.....	24
Figura 17. Función de BPCS que muestra donde es usado el código de referencia.....	25
Figura 18. Modelo 3D del contenedor que contiene el código 1636011297.....	25
Figura 19. Beam de elevación aislada del resto del conjunto.....	26
Figura 20. Modelos seleccionados y ordenados. Ensamblaje.....	26
Figura 21. Modelos seleccionados y ordenados. Soldadura.....	26
Figura 22. Beam lateral del pórtico de elevación del grupo 1.....	27
Figura 23. Beam lateral del pórtico de elevación del grupo 2.....	28
Figura 24. Beam superior del pórtico de elevación del grupo 1.....	28
Figura 25. Beams lateral y superior del pórtico de elevación de los grupos 3 y 4.....	30
Figura 26. Pórtico soldado que muestra en (3) donde se atornillan los cáncamos.....	31
Figura 27. Ilustración del cáncamo a poner en el pórtico.....	31
Figura 28. Pórtico soldado del proveedor A.....	32
Figura 29. Sistema de elevación de una torre de iluminación.....	32
Figura 30. Código de la ZBP en BPCS.....	33
Figura 31. Pórtico de elevación de una ZBP.....	33
Figura 32. Ejemplos de macrografías realizadas.....	35
Figura 33. Extracto del cajetín de un plano.....	36
Figura 34. Plano con cotas críticas rodeadas en azul.....	37
Figura 35. Prueba del montaje del pórtico con malas tolerancias.....	38
Figura 36. Correo decisión ahorro de coste.....	39
Figura 37. Fisura en un cráter, torre de iluminación.....	40
Figura 38. Extracto del Anexo IV de este defecto y su valor límite.....	40
Figura 39. Detalle de la unión en la tuerca.....	41
Figura 40. Defecto en el cordón de soldadura.....	41
Figura 41. Extracto del Anexo IV donde aparece el defecto y su valor límite.....	41

Figura 42. Detalle de los elementos donde se han dado los defectos.....	42
Figura 43. Cráter en el cordón de soldadura de la ZBP.....	42
Figura 44. valores límite aceptables de la soldadura.....	42
Figura 45. Representación de las variables a medir.....	43
Figura 46. incumplimiento de las condiciones.....	43
Figura 47. ZBP, detalle de viga horizontal y viga lateral.....	43
Figura 48. Soldaduras correctas en ángulo y a tope.....	44
Figura 49. Defectos aceptables en las soldaduras.....	44
Figura 50. Soldadura rechazable.....	45
Figura 51. Extracto de la fórmula necesaria del Anexo IV.....	45
Figura 52. Presupuesto para los ensayos experimentales.....	46
Figura 53. Fragmento del calendario de festivos de 2024.....	48
Figura 54. Tiempo utilizado en 10 validaciones previo al estudio.....	49
Figura 55. Tiempo utilizado en 10 validaciones tras al estudio.....	49
Figura 56. Fórmula general del VAN [48].....	50
Figura 57. Fórmula de la tasa de descuento anual [49].....	51
Figura 58. Transformación a tasa de descuento mensual.....	51
Figura 59. Evolución de la rentabilidad para el caso 1.....	52
Figura 60. Evolución de la rentabilidad para el caso 2.....	52
Figura 61. Fórmula general del TIR [54].....	53
Figura 62. Relación entre el VAN y el TIR para el caso 1.....	53
Figura 63. Relación entre el VAN y el TIR para el caso 2.....	54
Figura 64. Ejemplo de gráfica del Power BI.....	60
Figura 65. Datos de las Beams en Power BI.....	61
Figura 66. Pantalla de inicio del BPCS.....	61
Figura 67. Pantalla con algunos menús de BPCS.....	62
Figura 68. Opción multi-level del BOM 300, en BPCS.....	62
Figura 69. Menú del INV 71-8, en BPCS.....	63
Figura 70. Búsqueda de un código en Windchill.....	63
Figura 71. Pestañas accesibles del primer link.....	64
Figura 72. Interfaz del Creo View.....	64
Figura 73. Pestaña de planos de Windchill.....	65
Figura 74. Menú principal del Atlas Standard.....	65
Figura 75. Menú de NBN dentro de Atlas Copco Standard.....	66
Figura 76. Ecuación del coeficiente de seguridad [14].....	70
Figura 77. Elección de tratamientos superficiales para cada tipo de elemento.....	72
Figura 78. Tabla acorde a la norma ISO 12944-6.....	73
Figura 79. Categorías de corrosión atmosférica y ejemplos de ambientes típicos.....	73
Figura 80. Tensión de Von Mises para pértiga de una ZBP a 1,5g.....	74
Figura 81. Extracto de la norma interna MTB-GVL.....	75

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Desviaciones permitidas para dimensiones lineales [27].....	15
Tabla 2. Desviaciones permitidas para dimensiones angulares [27].....	16
Tabla 3. Tolerancias para las dimensiones lineales en uniones soldadas [30].....	16
Tabla 4. Características de los niveles.....	21
Tabla 5. Diferenciación de los niveles de coordinador de soldadura.....	21
Tabla 6. Relación entre ISO 3834 y niveles de coordinador de soldadura [40].....	22
Tabla 7. Comparación beams grupos 1 y 2.....	29
Tabla 8. Comparación beams grupos 3 y 4.....	30
Tabla 9. Resumen de los modelos seleccionados para ensayar.....	34
Tabla 10. Ejemplo de los resultados del laboratorio sobre los plegados.....	37
Tabla 11. Ejemplo de resultado de partículas magnéticas.....	39
Tabla 12. Resumen de los costes de los recursos de Atlas Copco.....	47
Tabla 13. Resumen de los costes de la normativa utilizada.....	48
Tabla 14. Análisis de resultados para todos los casos del estudio de MEF.....	75
Tabla 15. Defectos de soldadura y métodos de ensayo.....	78
Tabla 16. Selección de nivel de exigencia.....	81

1. PREFACIO

1.1 OBJETIVOS

Este trabajo de fin de grado de Ingeniería Mecánica tiene como objetivo mejorar la productividad del departamento de SQA (Supplier Quality Assurance) de la empresa, el cuál tiene como función asegurar la calidad de los elementos que vienen del proveedor. Para facilitar esta función, se va a investigar acerca de los requisitos de calidad y las normas en las que se basa el pórtico de elevación ya que es el elemento más crítico y laborioso de analizar. De este modo, se definirán las especificaciones que se han de solicitar al proveedor.

A la vez se van a realizar una serie de ensayos destructivos y no destructivos con varios objetivos. Primero, se busca definir una manera válida de comprobar estos requisitos para solicitar al proveedor que él realice los ensayos con cierta periodicidad.

En segundo lugar, se quiere sacar unas conclusiones de los experimentos y explicarlas. Así, alguien que vaya a trabajar en el departamento de calidad sabrá cuáles son los valores esperados que deberían aparecer en el informe del proveedor cuando éste haga los ensayos.

Adicionalmente, se espera evitar potenciales accidentes por el fallo de este elemento, que además de dañar la integridad física de un ser humano tuviera graves repercusiones económicas en Atlas al hacerse responsable del fallo.

Se hará un análisis económico del estudio, donde aparecerá la inversión en los ensayos, el tiempo utilizado y por otro lado el ahorro de tiempo futuro por el incremento de productividad y el del coste de un accidente entre otros.

1.2 ALCANCE

El alcance de este proyecto va a ser acotado al estudio y análisis del pórtico de elevación y la elaboración de las especificaciones de calidad para el proveedor de calderería que proporciona este elemento para Atlas Copco.

El estudio comprenderá una parte teórica donde se investigará acerca de la normativa y una parte experimental la cuál se desarrolla mediante unos ensayos y concluye en la valoración de sus resultados.

1.3 METODOLOGÍA

Para realizar este trabajo se van a seguir los siguientes procedimientos:

- Explicación de las variables que se tienen en cuenta en el sector respecto a la calidad y las normas que se aplican a estas variables. Esto permitirá informarnos de las propiedades que la industria considera más importantes para la calidad de este elemento, se considerarán libros que relacionan la manufactura y la ingeniería.
- Explicación de las variables en las que la empresa tiene requisitos de calidad y las normas internas que posee. Para ello se accede a Windchill y Creo View, dos plataformas digitales de la empresa. La primera almacena los modelos 3D y planos de todos los elementos que tiene el ERP de la empresa. La segunda es un visor donde podremos ver en 3D, hacer secciones y girar cualquier elemento que haya en Windchill.
- Se profundizará en la investigación de las normas ISO para definir cuales son las que debe cumplir esta clase de componentes. Para acceder a ellas la empresa tiene una plataforma en la que les ceden los derechos de lectura de la gran mayoría de normas ISO, este software se llama Atlas Standard - Index.
- Definición de los certificados e informes y pruebas que se van a requerir al proveedor.
- Realización de los ensayos y recopilación de resultados, para ello se contactará un laboratorio externo a la empresa y se realizarán pruebas con ultrasonidos, macrografías, partículas magnéticas y pruebas de resistencia a tracción.
- Valoración de los resultados analizando si los valores obtenidos son conseguibles por el proveedor y concluyendo el nivel de calidad experimental que podemos esperar de los ensayos y el margen de error que es aceptable respecto a las normas establecidas.
- Estudio y análisis del impacto económico del trabajo. Las valoraciones se producirán mediante el programa Excel y los resultados del análisis se mostrarán mediante gráficos.
- Conclusiones finales, valoración de la rentabilidad del proyecto.

1.4 CONTEXTO

Atlas Copco es una empresa que dedica su actividad en la producción en serie de grupos electrógenos. Estos grupos convierten la energía mecánica en energía eléctrica ya sea para almacenarla o para utilizarla. 6 de sus 7 líneas se basan en ese principio produciendo:

- ZBPs. Son acumuladores de energía, tras conseguir la energía eléctrica mediante un alternador, esta se hace pasar por un inversor y después es almacenada en las baterías que posee el grupo. Se encuentran diferenciadas por la cantidad de baterías que posee cada grupo, desde 4 hasta 12.



Figura 1. ZBP que muestra baterías e inversor

- Torres de iluminación. Estas se basan en conectar unos focos, cuya altura es regulable, al sistema que produce la transformación de energía. Este producto no es capaz de almacenar energía, sino que se usa para producir luz.



Figura 2. Torres de iluminación HiLight modelo B6+

- En las 5 líneas restantes se encuentra el nivel de actividad principal de esta entidad, encontrándose en una de ellas su fuente principal de ingresos. Como el producto anterior, la energía obtenida no se puede almacenar en estos grupos, se debe enchufar un dispositivo a los conectores para utilizar la electricidad producida.

La división del trabajo se hace mayormente por tamaño y potencia, lo cual influye directamente sobre su peso ya que pueden pesar desde 668 kg hasta 9,9 toneladas (pesos base sin opcionales, elevable hasta 250kg más).



Figura 3. Contenedor QAS 1350



Figura 4. Conjunto motor alternador de un QAS 30

1.5 GLOSARIO

- (1.) *Beam* - De forma literal es viga en inglés pero a menudo designa un elemento del sistema de elevación en el ERP de Atlas Copco.
- (2.) *Power BI* - Power Business Intelligence.
- (3.) *ERP* - Enterprise Resource Planning
- (4.) *IYISS* - Consumo de un elemento en el transcurso desde enero hasta el momento presente. Se resetea cada año.
- (5.) *BPCS* - Business Planning and Control System
- (6.) *Garganta* - Al soldar dos piezas en ángulo, es la medida del espesor del cordón o punto de la soldadura.
- (7.) *Eslingas* - Dispositivo utilizado para levantar y sostener cargas pesadas. Por lo general, se componen por cadenas, cables de acero o correas de nylon. Se enganchan a un cáncamo o gancho.
- (8.) *Cáncamo* - Elemento en forma de anillo utilizado para soportar cargas pesadas, representa el punto de anclaje para el enganche de los equipos de elevación.
- (9.) *CTE* - Código Técnico de la Edificación.
- (10.) *ELS* - Estado Límite de Servicio. Estado en el que una estructura debe aguantar un esfuerzo sin sufrir una deformación que afecte en su uso.
- (11.) *ELU* - Estado Límite Último. Estado en el que una estructura alcanza su capacidad máxima de resistencia.
- (12.) *Decapado* - Es un proceso de los aceros que consiste en eliminar impurezas de la superficie del acero y lo prepara para recibir otro tratamiento superficial.
- (13.) *END* - Ensayos no destructivos.
- (14.) *VAN* - Valor Actual Neto.
- (15.) *TIR* - Tasa Interna de Retorno.
- (16.) *RR* - Ratio de Rentabilidad.
- (17.) *WPS* - Welding Procedure Specification.
- (18.) *WPQR* - Welding Procedure Qualification Record.
- (19.) *PPM* - Partes defectuosas Por Millón
- (20.) *Segregaciones de composición* - Variaciones en la composición química que pueden ocurrir durante el proceso de solidificación del metal.

2. SITUACIÓN ACTUAL

Los componentes de máquinas que tienen que soportar los esfuerzos de elevación de la propia máquina son los más exigentes en cuanto a requerimientos de calidad debido a que las consecuencias si el grupo se cae al ser elevado pueden ser fatales, ya sean **económicas** si la máquina se rompiera o **humanas** si dañara a una persona. Se procede a explicar en qué áreas se exigen este tipo de requisitos

2.1 EN EL SECTOR

2.1.1 MATERIAL Y PROPIEDADES MECÁNICAS

Antes de exigir las propiedades que debe cumplir el material, ha de tenerse en cuenta los procesos de fabricación por los que se va a producir la pieza [5] y estudiar si son aplicables (aguantan las temperaturas requeridas, no hay conflictos de geometría entre procesos y costes de fabricación asumibles).

La clasificación más aceptada de los materiales en la ingeniería los divide en cuatro grupos: metales, cerámicas, polímeros y materiales compuestos o híbridos [6]. Los materiales metálicos son los que más se utilizan en la construcción de estructuras, y de entre ellos, las aleaciones férreas (aceros y fundiciones) son los más comunes. Para la elección del material se atiende a diversas propiedades. [7]

La **tensión** que va a sufrir el elemento. Para analizar el comportamiento de la tensión de un material se realizan ensayos de tracción y se analiza el esfuerzo respecto a la deformación (ver Figura 5).

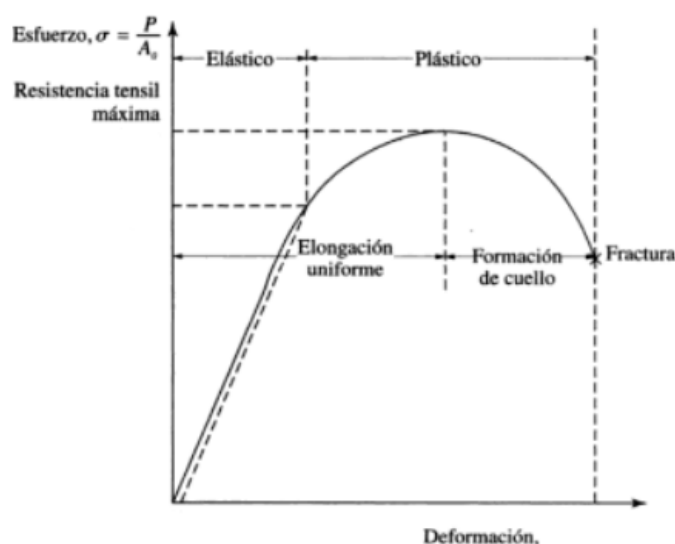


Figura 5. Curva esfuerzo-deformación típica [7]

De esta gráfica podemos estudiar elasticidad, plasticidad y tipo de rotura junto con las variables que los describen.

La **elasticidad** [8]. Se mide en la gráfica donde la relación entre tensión y deformación es lineal y se define como la propiedad que tiene un material para volver a su longitud original tras la aplicación de un esfuerzo. Viene definido por el módulo de Young (ver Figura 6) y el límite elástico.

$$E = \frac{\sigma}{e}$$

Figura 6. Ecuación del módulo de Young [8]

La **plasticidad**. Es la propiedad que tiene un material para deformarse permanentemente antes de romperse, comienza tras la fase elástica y termina en la tensión de rotura. En esta fase se encuentra la tensión máxima, la cual se encuentra en el punto álgido de la curva tensión-deformación. Esta tensión, a veces coincide con la tensión de rotura. Esto ocurre al darse un tipo específico de rotura, la **rotura frágil**.

Este tipo de rotura se caracteriza por romper sin que el material llegue a tener una deformación plástica. Todo lo opuesto es la **rotura dúctil**, en la que el material sufre una deformación plástica antes de que la pieza se rompa.

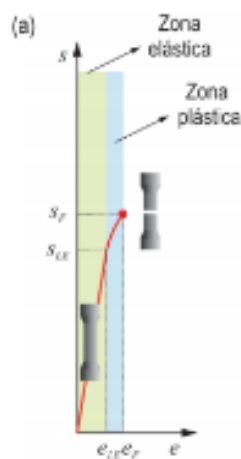


Figura 7. Ejemplo de rotura frágil [6]

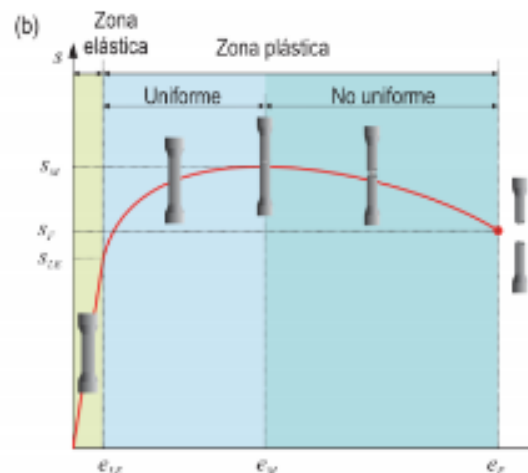


Figura 8. Ejemplo de rotura dúctil [6]

Para los pórticos de este estudio, interesa que el material sea **dúctil** ya que se apreciará una deformación plástica en la pieza que avisará de su rotura.

Por último, al ser un elemento expuesto al ambiente, es de interés estudiar cómo se da la **corrosión**. La figura 9 muestra la variación de energía libre. En ella, G es la energía libre y su variación depende esencialmente de que el potencial de la celda sea de un signo u otro.

$$\Delta G = -nF\varepsilon_{celda}^o$$

Figura 9. Ecuación de variación de la energía libre [9]

Como el potencial del cátodo (oxígeno) es mayor que la que posee el ánodo (acero) la energía libre disminuye, por lo que la formación de óxidos metálicos es termodinámicamente favorable. (ver Figura 10) [9]

$$\varepsilon_{celda}^{\circ} = \varepsilon_{cátodo}^{\circ} - \varepsilon_{ánodo}^{\circ}$$

Figura 10. Ecuación del potencial estándar de la celda [9]

A esto hay que añadir factores ambientales como las altas temperaturas, la humedad y la lluvia ácida los cuales aceleran el proceso de corrosión del material. [10]

Una mala elección del material puede provocar un **gasto económico extra** ya que elegir uno que tenga mejores propiedades que las requeridas es más caro.

2.1.2 TOLERANCIAS

Existen una serie de normas ISO referentes a tolerancias que se siguen en la industria. Para tolerancias de dimensiones lineales y angulares más generales se usa la ISO 2768-1 [11]. La ISO 286 define tolerancias más detalladas y especificaciones precisas para los planos [12].

Para algunos requisitos de forma, orientación y ubicación como grados y distancias entre orificios y ejes se utiliza la ISO 14405 [13] y la ISO 1101 [15] aborda la tolerancia de las características geométricas. A partir de estas, Atlas Copco define sus normas internas las cuales serán explicadas más adelante.

2.1.3 SOLDADURAS

El empleado del departamento de calidad tiene que saber identificar los defectos en las soldaduras, los más comunes son [16]: Tensión y deformaciones residuales, grietas y fusiones incompletas. En el desarrollo se ampliará la investigación acerca de estos defectos.

Los tipos de soldadura más utilizados en la industria son [17]: La soldadura por arco eléctrico, que utiliza un arco eléctrico generado entre un electrodo y el material base para fundir los metales. Contiene varios subtipos como la soldadura por arco de gas tungsteno (TIG) y la soldadura por arco de gas metal (MIG/MAG).

La soldadura por resistencia eléctrica, la cual utiliza calor para fusionar los materiales. Contiene varios subtipos como la soldadura por puntos, por costura y por proyección.

La soldadura láser, el cual funde y une los materiales. Se utiliza cuando se requiere alta calidad y mucha precisión.

2.2 EN LA EMPRESA

Cuando se finaliza el diseño de un pórtico de elevación, se incluye en un documento llamado “critical part list” que se envía al departamento de SQA. En él, se reflejan los componentes de las máquinas a los que hay que prestar más atención cuando se evalúa su calidad. Para poder validar este elemento se atiende a las variables que se explican a continuación:

2.2.1 MATERIAL

Aparece en el cajetín de los planos, como un número compuesto de 10 dígitos. El motivo de esta designación es su origen en Bélgica sumado a querer un convenio para todo el grupo Atlas Copco. Esa nomenclatura no refiere a ningún material que se pueda encontrar en España, de modo que se creó una **tabla de conversiones** de cada uno de esos materiales al más parecido aquí. (ver Anexo II.I)

A pesar de que el acero varía en los pórticos en cuanto al límite elástico y la resistencia, la mayoría coinciden que debe ser decapado^(12.). Así, se prepara al acero para recibir otro tratamiento superficial y protegerse de la corrosión, ya que el pórtico se encuentra en contacto con el ambiente en la mayoría de casos.

2.2.2 TOLERANCIAS

Atlas Copco posee unas regulaciones a seguir para el criterio de tolerancias que se fundamenta en las normas ISO mencionadas previamente. Se referencian en el cajetín de los planos. A continuación, se procede a explicar aquellas normas que serán empleadas posteriormente:

La primera de ellas se identifica como **1350-K** “General tolerances and standard references” [27] y en los planos se hace referencia a ella como AC-STD 1350 K(-m-K-E). La norma proporciona las medidas permitidas para las tolerancias de dimensiones lineales y angulares. (Ver Tablas 1 y 2)

Tolerance class		Permissible deviations for basic size range											
De-sig-na-tion	De-scrip-tion	-3 ¹⁾	>3 -6	>6 -30	>30 -120	>120 -400	>400 -1000	>1000 -2000	>2000 -4000	>4000 -8000 ²⁾	>8000 -12000 ²⁾	>12000 -16000 ²⁾	>16000 -20000 ²⁾
f	fine	±0,05	±0,05	±0,1	±0,15	±0,2	±0,3	±0,5	—	—	—	—	—
m	medium	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2	±3	±4	±5	±6
c	coarse	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2	±3	±4	±5	±6	±7	±8
v	very coarse	—	±0,5	±1	±1,5	±2,5	±4	±6	±8	±8	±10	±12	±12

Tabla 1. Desviaciones permitidas para dimensiones lineales [27]

Tolerance class		Permissible deviations for ranges of lengths in millimeters, of the shorter side of the angle concerned				
Designation	Description	-10	>10-50	>50-120	>120-400	>400
f	fine	$\pm 1^\circ$	$\pm 0^\circ 30'$	$\pm 0^\circ 20'$	$\pm 0^\circ 10'$	$\pm 0^\circ 5'$
m	medium					
c	coarse	$\pm 1^\circ 30'$	$\pm 1^\circ$	$\pm 0^\circ 30'$	$\pm 0^\circ 15'$	$\pm 0^\circ 10'$
v	very coarse	$\pm 3^\circ$	$\pm 2^\circ$	$\pm 1^\circ$	$\pm 0^\circ 30'$	$\pm 0^\circ 20'$

Tabla 2. Desviaciones permitidas para dimensiones angulares [27]

Además, asienta que el incumplimiento de la tolerancia no necesariamente afecta el funcionamiento del elemento y por sí mismo, no constituye motivo suficiente para descartar una pieza. También se dan tolerancias geométricas para perpendicularidad, redondez y simetría.

Del mismo modo, se aplica la norma **1356 - K** “Indirectly stated tolerances for fusion welding” [30]. En los planos se hace referencia a ella como 1356 K / A, B, C o D (depende la clase de tolerancia). Esta norma explicita las tolerancias para dimensiones lineales y angulares de uniones soldadas.

Basic dimension	Allowed deviations			
	Tolerance class			
	A	B	C	D
-30	± 1	± 1	± 1	± 1
(30) -120	± 1	± 2	± 3	± 4
(120) -315	± 1	± 2	± 4	± 7
(315) -1000	± 2	± 3	± 6	± 9
(1000) -2000	± 3	± 4	± 8	± 12
(2000) -4000	± 4	± 6	± 11	± 16
(4000) -8000	± 5	± 8	± 14	± 21
(8000) -12000	± 6	± 10	± 18	± 27
(12000) -16000	± 7	± 12	± 21	± 32
(16000) -20000	± 8	± 14	± 24	± 36

Tabla 3. Tolerancias para las dimensiones lineales en uniones soldadas [30]

2.2.3 SOLDADURAS

Por otro lado, se establecen dos normas adicionales para las soldaduras que tienen como función codificar los procesos de las soldaduras y detallar la calidad de estas. Estas normas son la base para la posterior investigación sobre los defectos de las soldaduras.

La primera de ellas se denomina **6885-K** “Numerical codes for welding and soldering processes” [28]. En esta norma se establecen unos códigos numéricos para cada una de las técnicas de soldadura. En la mayoría de casos, Atlas exige un proceso de MAG-welding cuyo código asignado es 135.

Process	Code
ARC WELDING	1
Metal-arc welding without gas protection	11
Metal-arc welding with covered electrode; (manual metal-arc welding) Shielded metal-arc welding (USA)	111
Submerged arc welding	12
Submerged arc welding with wire electrode	121
Gas-shielded metal-arc welding	13
MIG-welding	131
MAG-welding	135
Gas-shielded welding with non-consumable electrode	14
TIG-welding; Gas tungsten arc welding (GTAW) (USA)	141
Plasma arc welding	15
Plasma MIG welding	151
RESISTANCE WELDING	2
Spot welding; Resistance spot welding	21

Figura 11. Extracto de la norma 6885-K [28]

Paralelamente, la norma **6892-K** “Quality levels for arc welded joints of steel”, [29] explica los 3 niveles existentes de calidad: B, C y D; siendo B el más exigente. Atlas requiere el **nivel D** a menos que se especifique lo contrario en plano.

También se resalta la importancia de determinar si una soldadura está cargada por fatiga. Se considera carga por fatiga si el elemento conectado a la soldadura está sometido a mil (o más) variaciones de tensión cíclicas, incluso si la soldadura no es la que transmite la fuerza.

Las soldaduras las aplican con puntos o con un cordón continuo. La soldadura continua genera unas tensiones residuales que al solidificar pueden generar deformaciones en la pieza si no se han tenido en cuenta en el diseño. El método de las trabas no une las piezas por completo quedando huecos donde no llega la pintura después, lo cual acaba generando un problema de corrosión.

Se intenta utilizar soldadura continua siempre que sea posible aunque el criterio de elección depende de la geometría del elemento a soldar, su material y su espesor.

En el Anexo III se relatan otras variables que el sector y la empresa evalúan para validar los componentes pero que están fuera del alcance de este estudio.

3. DEFINICIÓN DE LAS NORMAS Y REQUISITOS A CUMPLIR

En este apartado se procede a investigar los puntos de interés de las normas ISO aplicables. La finalidad es concretar y definir los requisitos que han de cumplir los ensayos, así como los certificados de cumplimiento de algunos requerimientos.

Primero, se va a explicar brevemente las normas que se van a estudiar, los temas que tratan y los requisitos que se pretenden obtener. Posteriormente, se pretende aunar los requerimientos que se quieren aplicar para tener una única imagen que englobe todos los preceptos.

3.1 DEFINICIÓN DE LAS NORMAS ISO

Los ensayos van a focalizarse en **3 propiedades**: el material, las soldaduras y las tolerancias. Para ello, se va a utilizar la normativa interna previamente definida junto con las siguientes normas sobre soldaduras:

- ISO 5817 [31]: se especifican los **límites** de aceptación en los **defectos de las soldaduras** para los 3 niveles de calidad. La norma incluye cualquier chapa de espesor superior a 0,5 mm. Se busca conocer los tipos de defectos en las soldaduras y sus valores límite permitidos.
- TR 15135 [32]: se ilustra los tipos de unión entre dos chapas y una especificación general de los END^(13.) adecuados para cada unión. Proporciona un conocimiento a la hora de evaluar los planos y comprobar las especificaciones de las soldaduras.
- ISO 17635 [33]: se tratan en profundidad las pautas de **selección de los END** con respecto al material, la geometría de la unión, el tipo de defecto y el espesor de la chapa. El objetivo es conocer el tipo de ensayo adecuado para cada defecto.

También se ha investigado en normas que describen otros aspectos con relación a la calidad, como los registros que tiene que llevar el proveedor, la trazabilidad exigida y el personal de soldadura. Estas son:

- La serie ISO 3834: compuesta de 5 partes, las partes dos [36], tres [37] y cuatro [38] son diferentes niveles de exigencia sobre los mismos requisitos de calidad. Su objetivo principal es **definir procedimientos** de soldadura, verificar la competencia del personal de soldadura y establecer un criterio acerca de la **trazabilidad** y la documentación requerida.

El primer documento[34] presenta las variables a tener en cuenta para seleccionar el nivel a solicitar. Y el último fragmento, presenta los documentos que el proveedor ha de presentar para demostrar capacidad y conformidad con el nivel de exigencia escogido. Referencia las normas que se tienen que cumplir para cada apartado. [35]

- ISO 9712 [39]: se aborda la certificación y **cualificación del personal** que lleva a cabo los ensayos no destructivos. Se definen 3 niveles de certificación, las potestades de esos niveles y la formación para elevar la categoría. De esta norma se espera adquirir el conocimiento necesario para poder elegir al personal adecuado para hacer los ensayos.
- ISO 14731 [40]: se profundiza en la figura del **coordinador de soldadura** y sus responsabilidades. Además, se explican las diferencias entre los niveles de competencia que hay y la forma de evaluar esa competencia. Esta norma se encuentra muy relacionada a la serie ISO 3834. Se espera poder elegir un nivel de competencia a exigir para el coordinador de soldadura.

3.2 REQUISITOS Y CERTIFICADOS A SOLICITAR

Como ya se ha mencionado en el apartado 2.2.3, Atlas Copco exige la clase D para sus soldaduras. Ese dato, sumado a los espesores de las chapas que se utilizan (entre 2 y 15 milímetros), se emplean como datos de partida para obtener las exigencias acerca de los defectos de soldadura y los test apropiados para detectar estos fallos.

Para obtener una especificación del **criterio de aceptación** de soldadura, se ha realizado una tabla adjuntada como Anexo IV debido a su extensión.

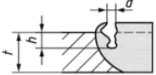
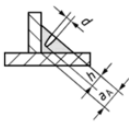
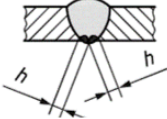
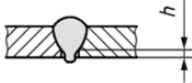
Defecto	Criterio	Imagen	END
Superficial imperfections			
Crack	Not permitted	-	→ Si penetración total / butt welds: VT + MT VT + PT → Si penetración parcial / fillet welds: O definir métodos de ensayo especiales o asegurarse mediante el proceso de soldeo
End Crater pipe	→ Si la chapa es $0,5 \leq t \leq 3$: butt welds: $h \leq 0,2*s$ y $d \leq 0,3*s$ fillet welds: $h \leq 0,2*a$ y $d \leq 0,3*a$ → Si la chapa es $t > 3$: Igual pero: butt welds: 3 mm máx fillet welds: 2 mm máx	— butt welds  — fillet welds 	→ Si penetración total / butt welds: VT + MT VT + PT → Si penetración parcial / fillet welds: O definir métodos de ensayo especiales o asegurarse mediante el proceso de soldeo
Lack of fusion	Not permitted, same for micro lack of fusion (detected by microexamination x50)	 	→ Si penetración total / butt welds: VT + MT VT + PT → Si penetración parcial / fillet welds: O definir métodos de ensayo especiales o asegurarse mediante el proceso de soldeo

Figura 12. Fragmento de la tabla del Anexo IV

En la figura 12 podemos ver, una columna “criterio” que alberga las fórmulas de las **dimensiones límite** del defecto. Se separa por espesor ($0,5 \leq t \leq 3$ y $t > 3$ mm) y por geometría de la unión soldada. En la columna “imagen” se presenta la dimensión de cada una de las medidas que aparecen en la fórmula. Y la última columna muestra los **ensayos aconsejados** para detectar cada defecto separando por espesor de chapa, geometría de unión y superficialidad del defecto.

En lo que respecta a la serie ISO 3834, se ha optado por generar una **tabla comparativa** (ver Anexo V) a partir de las variables expuestas en la parte 1 rellenándola con los datos de las partes 2, 3 y 4. Además, se han reunido las normas que se han de cumplir según los documentos de la parte 5.

Criterio	ISO 3834-2	ISO 3834-3	ISO 3834-4
Review of requirements para verificar que: El trabajo esta dentro del espectro de sus capacidades. Tiene suficientes recursos disponibles para llegar a los plazos de entrega. La documentación está clara y no es ambigua	Se deben considerar los siguientes aspectos: - El estándar a usar, junto con cualquier requerimiento adicional - Requisitos regulatorios y legislativos - Requisitos adicionales definidos por el fabricante - La capacidad del fabricante de cumplir los requisitos Es obligatorio mantener un registro	Se consideran los mismos aspectos que en la ISO 3834 -2. Se puede exigir que se mantenga un registro.	El fabricante debe revisar los requerimientos para verificar que tienen las competencias para realizar ese trabajo, que pueden llegar a las fechas de entrega y que la documentación está clara. Registro no exigible.
Sub-contracting	No hay limitaciones en cuanto a las subcontrataciones. El fabricante sigue siendo responsable de los documentos, certificados y entregables requeridos y en ningún caso lo será la empresa subcontratada		
Welders and welding operators (WPQ)	Los soldadores y los supervisores de soldadura deben estar cualificados apropiadamente. Para ello, se requiere que cumplan la norma que aparece en ISO 3834- 5, tabla 1, para soldadura de arco		
Welding coordination personnel	El fabricante deberá tener a su disposición personal de coordinación de soldadura apropiado. Con autoridad suficiente para tomar decisiones. Sus tareas y responsabilidades deben estar claramente definidas. Para ello, se requiere que cumplan la norma que aparece en ISO 3834- 5, tabla 2, para soldadura de arco. (ISO 14731)	Se exige exactamente lo mismo que en la ISO 3834-2 (ISO 14731)	No se hace referencia a este puesto
Inspection and testing personnel	Personal de NDT: Deben estar cualificados. Para los test visuales, no se requiere siempre un examen de cualificación. En ese caso su competencia debe ser verificada por el fabricante. Para ello, se requiere que cumplan la norma que aparece en ISO 3834- 5, tabla 3, para soldadura de arco. (ISO 9712 - NIVEL DEL INSPECTOR NO RELACIONADO A ISO3834 2 O 3)	Se exige exactamente lo mismo que en la ISO 3834-2 (ISO 9712 - NIVEL DEL INSPECTOR NO RELACIONADO A ISO3834 2 O 3)	General: El fabricante deberá llevar a cabo inspecciones y test. Personal de NDT: exige lo mismo que la ISO 3834-2
	El equipo que debe estar disponible: - Fuentes de energía y otras máquinas		

Figura 13. Fragmento de la tabla del Anexo V

Los puestos de **coordinador de soldadura** y de **inspector de END** (campos en verde) son esenciales para saber decidir el nivel de exigencia a solicitar. La categoría del inspector de END puede ser nivel 1, nivel 2 o nivel 3 [39]. La tabla 4 muestra una comparativa sobre las competencias de los niveles.

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
Preparar el equipo de NDT Realizar las pruebas y recoger los resultados acorde al criterio escrito Informar de los resultados (report).	Elegir la técnica del método NDT elegido Preparar y supervisar los equipos Realizar y supervisar los test Interpretar y evaluar los resultados Realizar tareas de nivel 2 o inferior Informar de los resultados del NDT	Establecer y validar instrucciones de los END y sus procedimientos Interpretar estándares, códigos, especificaciones y procedimientos Designar los métodos e instrucciones a usar en los NDT Llevar a cabo y supervisar tareas de cualquier nivel

Tabla 4. Características de los niveles

Como se puede ver, cada nivel puede hacer las tareas de niveles más bajos además de las propias de su nivel. El nivel 2 provee de ventajas muy útiles respecto al 1 como la autoridad para interpretar resultados o supervisar los test realizados. Sin embargo, el nivel 3 solo se diferencia en la capacidad de certificar que los métodos elegidos por un inspector de nivel 2 son válidos para realizar. Por esto, la categoría del inspector para los ensayos, es el **nivel II**.

El puesto de coordinador de soldadura también tiene 3 niveles, y por contraposición al puesto de inspector, estos niveles tienen una correlación directa [40] con cada uno de los niveles de la ISO 3834. Los niveles de menos a más exigente son: básico, específico e integral y son comparados en la tabla 5.

Nivel Básico	Nivel Específico	Nivel Integral
Habilidades elementales en resolución de problemas, Desarrollar soluciones apropiadas para problemas básicos. Capacidad de supervisar soldaduras de naturaleza predecible. Ser competente para tomar decisiones en el trabajo diario.	Habilidades en resolución de problemas especializados. Se debe desenvolver en condiciones no previstas no muy complejas. Capacidad para adaptar la soldadura a las fabricaciones. Competentes para tomar decisiones y definir las tareas del personal.	Altas habilidades en resolución de problemas especializados. Evaluación crítica para definir las mejores soluciones aplicables. (tecnológicas y económicas) Capaces de adaptar la soldadura a las fabricaciones por compleja que sea la situación. Competentes para tomar decisiones y definir y revisar la soldadura y las tareas del personal.

Tabla 5. Diferenciación de los niveles de coordinador de soldadura

La determinación del nivel exigido al coordinador de soldadura implica una orientación para la elección del nivel de la ISO 3834 por lo que se procede a realizar las dos decisiones a la vez.

- Elección del coordinador de soldadura: como se puede ver en la tabla 5 las especificaciones de cada nivel son un tanto ambiguas. Para obtener resultados concluyentes, se contacta con un laboratorio externo (Araeci SXXI S.L) experto en soldaduras.

Se ha preguntado al gerente, inspector de soldaduras de nivel II, acerca de lo que se puede esperar de cada nivel. La respuesta obtenida fue que un coordinador de soldadura de **nivel específico** era suficiente para el caso dado.

Decisive factor	Requirements for welding coordinators ^a
Technical complexity of welding operation	The levels are directly correlated: — ISO 14731, comprehensive for ISO 3834-2 — ISO 14731, specific for ISO 3834-3
Complexity of equipment used for welding	No correlation, ISO 14731 basic may be sufficient ^b
Production volume	No correlation, ISO 14731 basic may be sufficient ^c

Tabla 6. Relación entre ISO 3834 y niveles de coordinador de soldadura [40]

- Elección de la ISO 3834: en las reuniones que se acometieron para tomar esta decisión, se ha dudado siempre entre la parte 2 y la 3. Los motivos para descartar la parte 4 fueron:
 - 1 - No requiere personal de coordinación de soldadura
 - 2 - No exige un registro de especificaciones en el proceso que seguirán las soldaduras. (WPS)^(17.)
 - 3 - No exige una cualificación de los procesos de soldadura (WPQR)^(18.)
 - 4 - No exige trazabilidad de las piezas soldadas.

Como se puede comprobar en el Anexo V la parte 2 y 3 son muy similares, y la decisión se acabó limitando por los campos: trazabilidad, personal de coordinación de soldadura y personal de inspección de soldadura. Se concluyó que las exigencias de la parte 3 eran similares a las de la parte 2 y era más económico certificarse, por lo que se decidió actuar para ampliar el número de posibles proveedores **eligiendo la ISO 3834-3**.

4. PLANIFICACIÓN Y REALIZACIÓN DE ENSAYOS

Tras la investigación de la normativa y definir los requisitos se procede a realizar los ensayos experimentales. Se pretende determinar si los valores teóricos son conseguibles y el margen que se tiene respecto al valor límite. A la vez, se busca ayudar al departamento de calidad a saber aproximadamente los valores esperados que deben reflejarse en el informe del proveedor cuando haga los ensayos.

Antes de realizar los ensayos, se hace una selección de los modelos que van a ser ensayados:

4.1 SELECCIÓN DE MODELOS DE ENSAYO

El grupo Atlas Copco posee una gran variedad de modelos de pórticos de elevación. Cada modelo se encuentra dividido en partes, y cada parte posee en *BPCS*^(5.) un código de referencia. El código viene ligado a una breve descripción, en este caso es la palabra *beam*^(1.). Se puede estimar que existen más de **980 códigos** con esa descripción. Eso hace que se tome la siguiente estrategia como punto de partida.

Mediante el programa *Power BI*^(2.) (ver Anexo I.I), se van a filtrar los códigos para que solo aparezcan aquellos que no estén obsoletos y cuya descripción contenga el término “beam” (ver Figura 14). Tras eso, exportando los datos a Excel y con el filtro *IYISS*^(4.), se eliminarán todas las que no hayan sido usadas al menos una vez en 2024 o 2023.

BPCS TARIFAS								
Executed: 2024-04-04 09...		Vendor	MOTALT ALL PRICES					
Ref	Vendor Ref	Description	Vendor code	Vendor name	Comment	IONOD	Cost	IC
1626147198		BEAM ASSY AC,AA	10354	MARSU S.L.		0	29.48	C/
1626147198		BEAM ASSY AC,AA	10354	MARSU S.L.		0	33.40	C/
1626147198		BEAM ASSY AC,AA	10354	MARSU S.L.		0	33.40	C/
1626147198		BEAM ASSY AC,AA	10354	MARSU S.L.		0	34.90	C/
1626147198		BEAM ASSY AC,AA	10354	MARSU S.L.		0	35.27	C/
1626147198		BEAM ASSY AC,AA	10354	MARSU S.L.		0	35.27	C/
1626147198		BEAM ASSY AC,AA	10354	MARSU S.L.		0	35.32	C/
1626147198		BEAM ASSY AC,AA	10354	MARSU S.L.		0	36.86	C/
1626196696		BEAM ASSY AC	10354	MARSU S.L.		6	64.43	C/

MOTALT							
Ref	Vendor Ref	Description	Vendor code	Vendor name	ISCST	IONOD	ICLA
1626147198		BEAM ASSY AC,AA	10354	MARSU S.L.	37.28	0	CA
1626147198		BEAM ASSY AC,AA	10354	MARSU S.L.	37.28	0	CA
1626378403		BEAM	10654	TECNOVEN, S.L.	77.10	0	CA
1633001639		BEAM RAL9005	10654	TECNOVEN, S.L.	46.80	0	CA
1633001639		BEAM RAL9005	10654	TECNOVEN, S.L.	46.80	0	CA
1633001640		BEAM RAL9005	10654	TECNOVEN, S.L.	69.16	0	CA
1633001640		BEAM RAL9005	10654	TECNOVEN, S.L.	69.16	0	CA
1633001678		BEAM RAL9005	10354	MARSU S.L.	100.28	0	CA
1633002650		BEAM RAL9005	10354	MARSU S.L.	43.06	0	CA
1633002867		BEAM RAL9005	10654	TECNOVEN, S.L.	96.87	0	CA

Figura 14. Tabla Motalt, en Power BI

Tras comparar los consumos de las referencias se decide eliminar de la muestra aquellos códigos consumidos menos de 20 veces entre los dos años por no resultar representativo. La lista resultante consta de 36 elementos. (ver Figura 15)

Ref	Description	Vendor	IClass	Unit Cost	IYISS 2024	IYISS 2023
1636005737	SEMI LIFTING BEAM	MARSU	CA	€ 9.09	0	34
1636005736	BEAM	MARSU	CA	€ 10.60	0	34
1633034834	BEAM RAL7021	TECNIMETAL	CA	€ 34.20	0	8
1633034836	BEAM RAL7021	TECNIMETAL	CA	€ 36.37	0	8
1633034816	BEAM RAL7021	TECNOVEN	CA	€ 77.71	0	36
1633034818	BEAM RAL7021	TECNOVEN	CA	€ 16.12	0	36
1633034820	BEAM	TECNOVEN	CA	€ 14.69	0	36
1636011297	LIFTING BEAM	UCEFER CERRAJEROS	CA	€ 1,103.66	6	18
1636011296	BEAM (Cáncamo de elevación)	UCEFER CERRAJEROS	CA	€ 269.44	0	16
1636016677	BEAM	TECNOVEN	CA	€ 341.98	12	20
1636038874	BEAM ASSY AC,AA (RIGHT)	MARSU	GA	€ 38.83	223	325
1636038873	BEAM ASSY AC,AA (LEFT)	MARSU	EY		223	no genera pedido
1626205904	BEAM ASSY AC,AA (UP)	MARSU	EY	€ 38.83	223	no genera pedido
1636002915	BEAM ASSY AB (LIFTING RIGHT)	MARSU	CA	€ 86.41	36	24
1636002917	BEAM ASSY AB (UPPER PART)	MARSU	EY			no genera pedido
1636002923	BEAM ASSY AB (LIFTING LEFT)	MARSU	CA	€ 83.45	36	24
1636035362	BEAM	METALAPOTHEKA	GA	€ 94.76	36	192
1640004341	BEAM	MARSU	GA	€ 26.76	8	32
1626196696	BEAM ASSY AC (RIGHT)	MARSU	CA	€ 77.66	26	68
1626196686	BEAM ASSY AC (LEFT)	MARSU	CA	€ 80.77	26	68
1626084282	BEAM LIFTING HOR					no genera pedido
1636030816	BEAM RIGHT	MARSU	GA	€ 52.78	174	452
1636029680	BEAM LEFT	MARSU	EY			no genera pedido
1640052540	BEAM HORIZ (incluye ojo)	MARSU	EY			no genera pedido
1636049380	LIFT.BEAM ASSY	MARSU	CA	€ 222.48	1	no existía
1626384300	EYE LIFTING (CÁNCAMO ROSA)					no existía
1636013466	LIFTING BEAM (Cáncamo de elevación)	TECNOVEN	CA	€ 112.23	2	23
1636034491	LIFTING BEAM QES	MARSU	CA	€ 208.45	1	93
1636004637	BEAM	MARSU	GA	€ 48.20	127	391
1636035182	LIFT.BEAM ASSY	IBERICA	GA	€ 126.49	70	818
1633032336	BEAM	METALAPOTHEKA	CA	€ 445.00	3	20
1636040404	LIFT.BEAM ASSY	IBERICA	CA	€ 215.00	0	37
1636039164	BOXAA LIFTING BEAM PIOC/SC	MARSU	CA	€ 53.58	11	168
1636039089	BOXAC_A LIFTING BEAM PIOC/SC	MARSU	CA	€ 38.83	31	213
1636044858	LIFT.BEAM ASSY	IBERICA	GA	€ 140.00	94	114
1636034163	BEAM COOLER	METALAPOTHEKA	GA	€ 27.68	11	207

Figura 15. Cuadro resultante de la primera criba

El grupo Atlas Copco está centralizado y la sucursal en España no es la única que diseña y define elementos. Lo cual unido a la traducción literal de la palabra beam, provoca cierta incertidumbre sobre si todas las descripciones que contengan ese término hacen la función de soportar los esfuerzos de elevación.



Figura 16. "Beam" de elevación soldada en grupo electrógeno

Para cerciorarse de solo tener aquellas que nos interesan, se realizará una investigación en la que se aprovechará para dividir los pórticos en 2: los que se **ensamblan** en la empresa (figura 20) y los que llegan **soldados** (figura 21). Los pórticos que se ensamblan en Atlas generan 3 códigos, uno por cada parte a ensamblar. Así, habrá que encontrar y ordenar los códigos que van unidos.

Para ello, mediante el uso del ERP^(3.) de la empresa, BPCS, usaremos una función que muestra los códigos de piezas donde va integrada la beam que busquemos. Poseen una jerarquía de niveles, cuanto mayor es el nivel, más componentes integrados tiene esa parte. (Ver Anexo I.II)

BOM300D3-01		A.C. ZARAGOZA DIVISION 6.1			QPAD1116	4/04/24
ATCOAICA		BILL OF MATERIALS		Multi-Level	ESFMSA	14:26:50
Component 1636011297		Facility		Method	Effective	
LIFTING BEAM						
Class CA		On Hand	1,000	On Order	0,000	Allocated 0,000
Level	Parent	Fac	Description	U/M	Qty	Required Scrap
1	1636906573		FRAME / MOUNTS	PC	2,000000	1,0000
.2	1636913531		BP EXTERNAL CUB	PC	2,000000-	1,0000
.3	8171300304		IOTM EXTERNAL P	PC	2,000000-	1,0000
.3	8171300319		IOTM EXTERNAL P	PC	2,000000-	1,0000
.3	8171300320		IOTM EXTERNAL P	PC	2,000000-	1,0000
.3	8171300322		IOTM EXTERNAL P	PC	2,000000-	1,0000
.3	8171300323		IOTM EXTERNAL P	PC	2,000000-	1,0000
.3	8171300324		IOTM EXTERNAL P	PC	2,000000-	1,0000
.3	8171300340		IOTM EXTERNAL P	PC	2,000000-	1,0000
.3	8171300345		IOTM EXTERNAL P	PC	2,000000-	1,0000
.3	8171300348		IOTM EXTERNAL P	PC	2,000000-	1,0000
1	1636908089		FRAME / MOUNTS	PC	2,000000	1,000 +
F1=Help F3=Exit F5=Refresh F7=Backward F8=Forward F11=Fold F24=More Keys						
MÁ a MW A 24/080						

Figura 17. Función de BPCS que muestra donde es usado el código de referencia

Se selecciona un código de ellos y se busca en Windchill (ver Anexo I.III), otro programa de la infraestructura digital de Atlas Copco. Este programa nos permite encontrar planos de los ítems, detalles de su descripción y modelos 3D.

Se quiere ver éste último para ver donde se monta la beam y ver si corresponde con una beam de elevación o tiene otra función.



Figura 18. Modelo 3D del contenedor que contiene el código 1636011297



Figura 19. Beam de elevación aislada del resto del conjunto.

Al terminar este proceso, quitando de la lista las piezas con otro uso, separando las beams por soldadura y ensamblaje y ordenandolas por similitudes, los resultados fueron los siguientes:

Ref	Description	Proveedor	IYISS 2024	IYISS 2023	DONDE SE USA		
1636038874	BEAM ASSY AC,AA (RIGHT)	A					
1636038873	BEAM ASSY AC,AA (LEFT)	A	265	706	1611729275		
1626205904	BEAM ASSY AC,AA (UP)	A			QAS30, QAS40		
1636030816	BEAM RIGHT	A					
1636029680	BEAM LEFT	A	174	452	8170023361		
1640052540	BEAM HORIZ (incluye ojo)	A			QAS30, QAS45		
1636002915	BEAM ASSY AB (LIFTING RIGHT)	A					
1636002923	BEAM ASSY AB (LIFTING LEFT)	A	36	24	1636902648		
1636002917	BEAM ASSY AB (UPPER PART)	A			QAS60		
1626196696	BEAM ASSY AC (RIGHT)	A					
1626196686	BEAM ASSY AC (LEFT)	A	26	68	1636912116		
1626084282	BEAM LIFTING UPPER PART	A			QAS80, QAS 100		

Figura 20. Modelos seleccionados y ordenados. Ensamblaje

Ref	Description	Proveedor	IYISS 2024	IYISS 2023	DONDE SE USA		
1636011297	LIFTING BEAM	C	43	325	QES 900, QES 1000, QES 1250, QES 1150		
1636011296	BEAM (Cáncamo de elevación)	C	43	325			
1636004637	BEAM	A	127	391	QES 20 KD, QES 14 KD		
1636035182	LIFT.BEAM ASSY	B	70	818	1636913512 (TORRE DE ILUMINACIÓN)		
1636044858	LIFT.BEAM ASSY	B/A	94	114	8170023486 (ZBP)		

Figura 21. Modelos seleccionados y ordenados. Soldadura

Estos ensayos van a comprobar para cada proveedor los materiales que utilizan, la calidad de las soldaduras que están realizando y si están cumpliendo las tolerancias marcadas.

Se va a proceder a realizar una **labor comparativa** entre los diferentes modelos restantes, para reducir la lista y que resulte más económico. Esta comparación se va a separar en ensamblaje y soldadura.

4.1.1 ENSAMBLAJE

La comparación se hará de **pórticos completos**, es decir en grupos de 3 vigas (2 laterales y 1 horizontal) y por ello, los códigos se juntarán en los tríos marcados en la figura 20 pasando a ser grupo 1, grupo 2, grupo 3 y grupo 4.

Al comparar los planos se tiene en cuenta que los pórticos son simétricos por lo que la beam izquierda y la derecha son iguales y comparten plano. En consecuencia solo se usará un plano como modelo para ambos lados. Se comparará primero la viga lateral y luego la superior.

4.1.1.1 GRUPOS 1 Y 2

Los planos de los grupos 1 y 2 son muy similares al igual que lo son los de los grupos 3 y 4. Se analizan las características que puedan afectar a la calidad o la seguridad: medidas totales, el espesor de chapa de cada una de las láminas, las soldaduras entre algunos de los elementos y el material empleado.

El **grupo 1** posee unas medidas de 756,5 de alto x 180 de ancho x 154 de profundidad [mm]. El espesor de la chapa es de 3 mm en todos los casos. La placa 4 va soldada a la placa 3 y la placa 3 va soldada a la placa 1. Solo se utiliza el material 0011 1312 50 que equivale al S235 JR (ver Anexo II.I). Su proveedor es A.

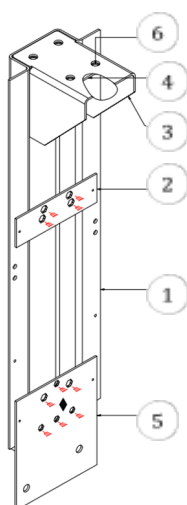


Figura 22. Beam lateral del pórtico de elevación del grupo 1

El **grupo 2** posee unas medidas de 856,5 de alto x 180 de ancho x 154 de profundidad. La placa 2 está soldada a la placa 1. El espesor de la chapa es de 3 mm en todos los casos. La placa 4 va soldada a la placa 3. Utiliza el material 0011 1312 50 (S235 JR) y el 0011 1412 00, equivalente al S275 JR (ver Anexo II.I). La provee A.

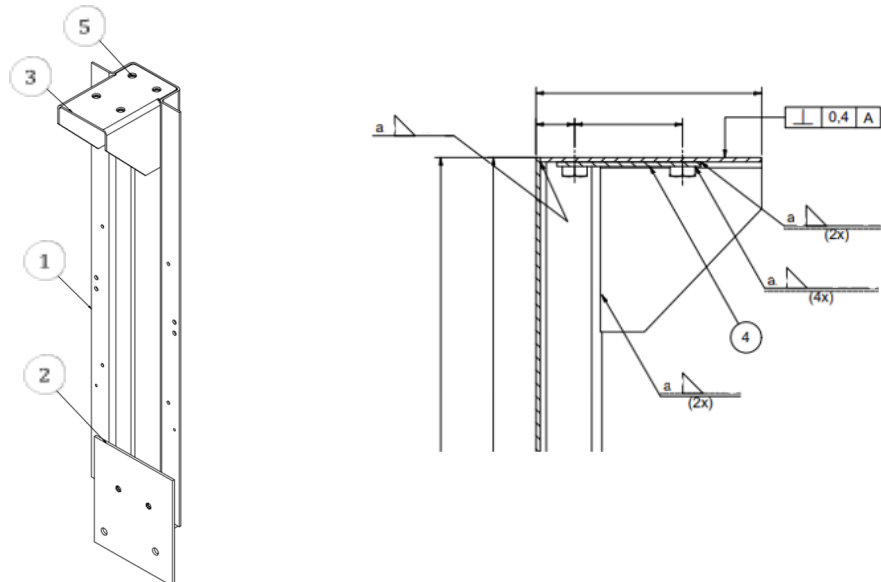


Figura 23. Beam lateral del pórtico de elevación del grupo 2

Para las vigas superiores, se procede de la misma manera:

El **grupo 1** es una chapa plegada con 924 de largo x 174 de ancho x 68,5 de alto [mm]. La chapa 1 tiene un espesor de 6 milímetros y la chapa 2 tiene un espesor de 10 milímetros ya que es la que va a recibir los mayores esfuerzos en la elevación del grupo. La viga posee dos barras que unen los lados de la chapa uno, estas barras son de sección circular con diámetro 12 milímetros. Utiliza el material acero S235 JR. (ver Anexo II.I)

La chapa 2 se une a la chapa 1 con soldadura por puntos en paralelo a los dos lados de la unión y los tubos 3 se unen a la chapa con 4 puntos de garganta^(6.).

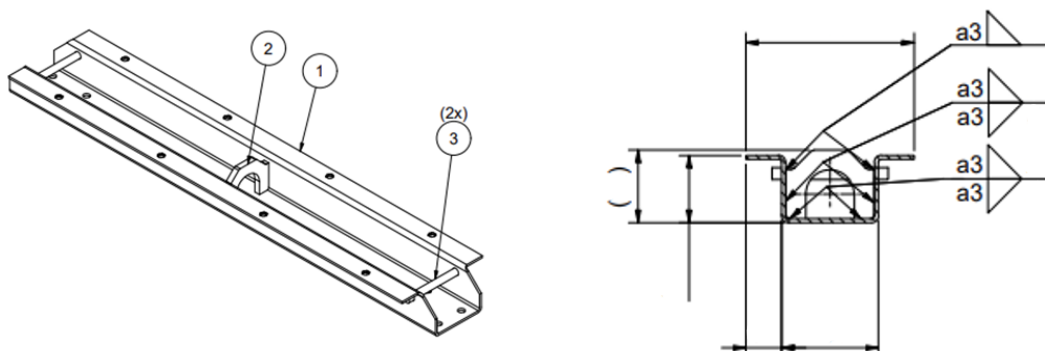


Figura 24. Beam superior del pórtico de elevación del grupo 1

La viga superior del **grupo 2** utiliza el mismo plano que la del grupo 1, por lo que sus especificaciones son las mismas.

En la tabla 7 se recogen las características descritas y se exponen a nivel comparativo para tener una visión más compacta y escoger la mayor diversidad de características posible:

	GRUPO 1	GRUPO 2
	LATERALES	
MEDIDAS (mm)	756,5 x 180 x 154	856,5 x 180 x 154
ESPEORES (mm)	t=3 en todas las chapas	3 en todas las chapas
SOLDADURAS	(4 - 3) por puntos, con garganta de 3 mm (1 - 3) un solo cordón de garganta 3 mm	IDÉNTICAS A GRUPO 1
MATERIALES	S235 JR (en todas las chapas)	S235 JR (chapas 2,3 y 4) S275 JR para chapa 1
	SUPERIORES	
MEDIDAS (mm)	924 X 174 X 68,5	MISMO PLANO QUE GRUPO 1
ESPEORES (mm)	t=6 chapa 1 t=10 chapa 2	
SOLDADURAS	(2 - 1) por puntos soldaduras paralelas a los dos lados (3 - 1) unidos por 4 puntos de garganta 3 mm	
MATERIALES	S235 JR (en todas las chapas)	

Tabla 7. Comparación beams grupos 1 y 2

Conclusiones: ambos modelos son muy parecidos en todos los niveles pero como ya se ha mencionado, interesa poder probar todas las propiedades que sea posible. El hecho de que el grupo 2 incluya un material más elásticamente exigente hace que sea más útil de ensayar.

4.1.1.2 GRUPOS 3 Y 4

Se realiza un análisis similar para los grupos 3 y 4, comparando por separado las vigas laterales y las vigas superiores. Solo se acaban diferenciando en sus dimensiones:

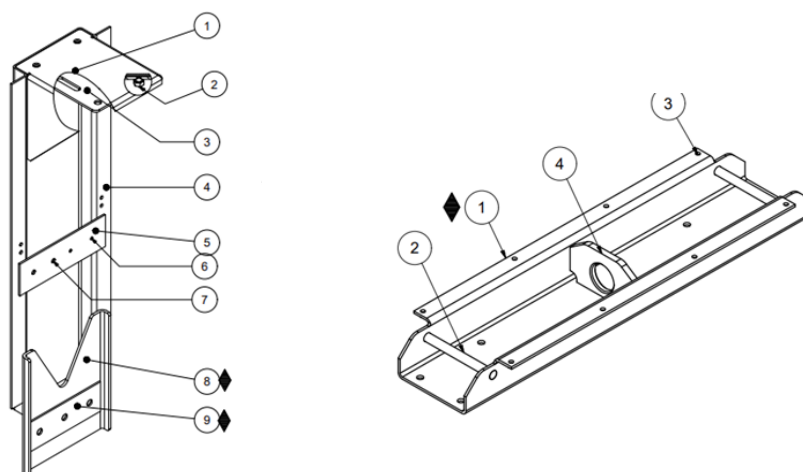


Figura 25. Beams lateral y superior del pórtico de elevación de los grupos 3 y 4

Como previamente en la tabla 7, la tabla 8 recoge las características de ambos grupos y las compara visualmente:

	GRUPO 3	GRUPO 4
	LATERALES	
MEDIDAS (mm)	991 x 290 x 244	1091 x 290 x 254
ESPESORES (mm)	Placas 1, 4, 5, 9 tienen $t=4$ Placa 3 tiene $t=5$ placa 8 tiene $t=6$	IDÉNTICOS A GRUPO 3
SOLDADURAS	(4 - 5) por puntos, garganta de 3 mm (8 - 4) por puntos, garganta de 3 mm	IDÉNTICAS A GRUPO 3
MATERIALES	S355 J2 + N (en todas las chapas)	MISMO MATERIAL QUE GRUPO 3
	SUPERIORES	
MEDIDAS (mm)	1016 X 288 X 102,5	1066 X 288 X 102,5
ESPESORES (mm)	$t=6$ chapa 1 $t=15$ chapa 4	IDÉNTICOS A GRUPO 3
SOLDADURAS	(4 - 5) por puntos, garganta de 3 mm (8 - 4) por puntos, garganta de 3 mm	IDÉNTICAS A GRUPO 3
MATERIALES	S355 J2 + N (en todas las chapas)	MISMO MATERIAL QUE GRUPO 3

Tabla 8. Comparación beams grupos 3 y 4

Conclusiones: Como se aprecia en la tabla estos dos grupos solo distan entre ellos en sus cotas totales. Son parecidos a los anteriores a excepción del material utilizado, que en este caso es S355J2 + N lo que hace que sea de interés probarlo. Como el consumo del grupo 4 prácticamente triplica al del grupo 3 (ver Figura 20) el grupo 4 es seleccionado para ser ensayado.

4.1.2 SOLDADURA

De los modelos que se van a analizar hay que distinguir el primero del resto, ya que ese está conformado por un pórtico y un cáncamo que está diseñado por Atlas, es decir, que no es comercial. Por este motivo, se van a analizar las dos piezas como parte de un mismo conjunto en una primera fase y se analizarán el resto en una segunda.

4.1.2.1 FASE 1

Este modelo está compuesto por el pórtico 1636011297 y el cáncamo de elevación 1636011296. Su proveedor es C. El **pórtico** utiliza el material 0011 2172 70 equivalente al S355 JR, tiene un espesor de chapa de 8 mm, sus cotas totales son 1897 x 2165 mm.

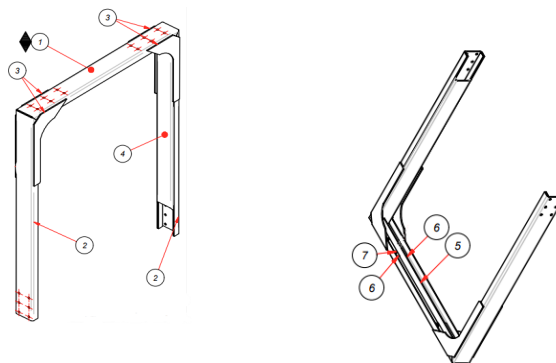


Figura 26. Pórtico soldado que muestra en (3) donde se atornillan los cáncamos

El **cáncamo** está fabricado del mismo material pero con una chapa de espesor 20 mm, en él se unen varias chapas con una soldadura con cordón continuo con una garganta de 5 mm. Su agujero principal es de 55 milímetros de diámetro y 6 pasantes de 20 mm.

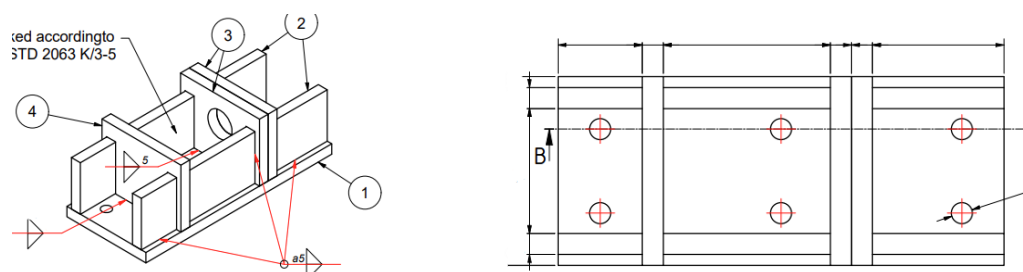


Figura 27. Ilustración del cáncamo a poner en el pórtico

De este grupo **solo se selecciona el pórtico** por tener unos materiales y soldaduras más técnicas y ser de un proveedor todavía no seleccionado al que se quiere auditar.

4.1.2.2 FASE 2

Se analiza el código 1636004637 cuyo proveedor es A. Este proveedor ya ha sido analizado en los pórticos de ensamble, por lo que si sus características no son muy diferentes a lo que se tiene de este proveedor, no se elegirá.

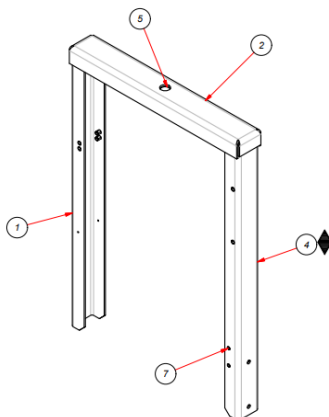


Figura 28. Pórtico soldado del proveedor A.

Este modelo utiliza un espesor de chapa de 5 milímetros, solo tiene soldaduras en ángulo, y el material utilizado es S235 JR. Este es un material utilizado en varias beams y las soldaduras no son diferentes a los otros modelos. La conclusión es que **no resulta de gran interés** ensayar este modelo.

Los siguientes sistemas de elevación no son propios de los grupos electrógenos, sino de las torres de iluminación y las ZBP:

Las torres de iluminación (ver Figura 2). Se trata de una morfología **completamente distinta** a las vistas hasta ahora (ver Figura 29) lo cual, sumado a su utilización para todos los modelos de torres de iluminación, lo hace muy atractivo para ser ensayado. El plano dice que usa 6 materiales diferentes, con hasta 3 espesores distintos de chapa. Su proveedor es B, nuevo en el estudio.

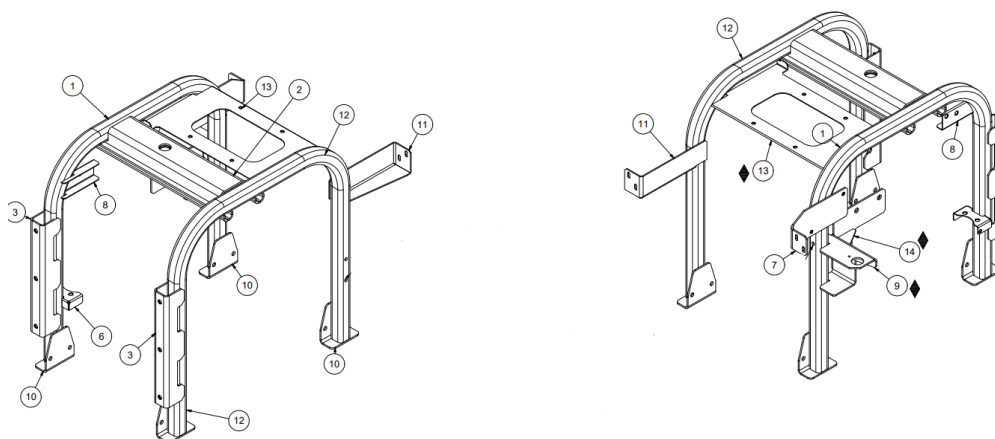


Figura 29. Sistema de elevación de una torre de iluminación

Por último, la ZBP (ver Figura 31). Este modelo de sistema de elevación está registrado en BPCS (ver Anexo I.II) con dos proveedores A y B que se pueden ver en la figura 30 abajo a la derecha bajo el campo "Vendors Name".

INV300D-02	A.C. ZARAGOZA DIVISION	6.1	QPAD1617	23/04/24
	Material Status Inquiry - Summary		ESFMSA	13:54:46
Item 1636044858	+ LIFT.BEAM ASSY		On Hand	48,000
Fac IN + U/M Sales PC	U/M Purch PC	U/M Stock PC	Cust Alloc	0,000
Class GA Group	Yield % 100,00		Mfg Alloc	155,000
Type P Draw/Form No 1636044858			On Order	102,000
			Available	107,000-
	MTD	YTD		
Opening Balance	56,000		Lot Size Std	12,000
Issues	26,000		Std Batch Size	1,000
Receipts	18,000		Daily L/T Rate	
Adjustments	0,000		Fixed Lead Time Days	25
Sales Units	0,000	0,000	Var Lead Time	
Sales Amt	0,00	0,00	Order Policy J Mult Lot SzeR	
List/Catalog	435		Horizon Days	
List Price			Period Order Days	000
Std Cost	297,00000		MRP/MPS code N Buyer Code P	
Actual Cost	297,00000	Vendors	Vendors Name/Item No	
Discount Code		10183	VENTAS DE BENEFICIOS, S.A.	
Pur U/M Cnv	1,00000		Planner Code M	
Sales U/M Cnv	1,00000	10354	VORSH S.L.	
Minimum Balance	12,000			
F1=Help F3=Exit F4=Prompt F12=Cancel F19=Locations F24=More Keys				

Figura 30. Código de la ZBP en BPCS

Este sistema también tiene una **morfología diferente** al ser utilizada para grupos con una funcionalidad distinta. Esto hace que sus procesos de fabricación de chapa sean diferentes y resulte de interés estudiarlo en un ensayo. Utiliza dos tipos de material 011 1312 00 (S235JR) y 0011 2174 01 (S355J2 + N) y los espesores de la chapa varían desde 2 hasta 5 milímetros.

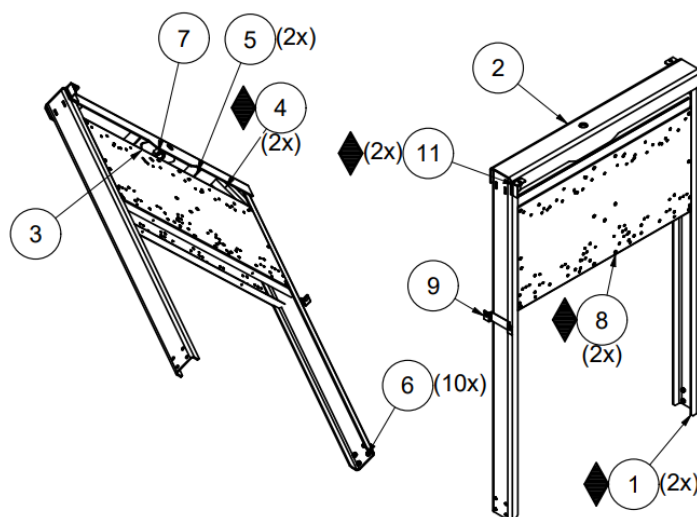


Figura 31. Pórtico de elevación de una ZBP

4.2 MODELOS SELECCIONADOS, RESUMEN

Después de analizar los grupos separando por ensamblaje y soldadura, conviene saber si se puede hacer alguna **reducción** más entre ellos si se comparan juntos.

En ensamblaje, A es el único proveedor, de modo que se miran las especificaciones del modelo de la ZBP para comprobar si coinciden y podemos descartar uno.

Como hemos dicho antes, la ZBP utiliza el S235 y el S355 y los espesores varían desde 2 hasta 5 mm. Se observa que el grupo 4 de ensamblaje utiliza el material S355 y sus espesores utilizados están dentro del rango que utiliza la ZBP.

Como la ZBP es un grupo diferente a los demás y provee más diversidad de material que el grupo 4, éste último **se descarta**.

Para resumir, de ensamblaje se ensayará el grupo 2 y de soldadura probaremos el pórtico del proveedor C, la torre de iluminación y la ZBP.

Referencia	Descripción	Proveedor	IYISS 2024	IYISS 2023
ENSAMBLAJE				
1636030816	BEAM RIGHT/LEFT	A	174	452
1640052540	BEAM HORIZ	A	174	452
SOLDADURA				
1636011297	LIFTING BEAM	C	43	325
1636035182	LIFT.BEAM ASSY (TORRE)	B	70	818
1636044858	LIFT.BEAM ASSY (ZBP)	B/A	94	114

Tabla 9. Resumen de los modelos seleccionados para ensayar

4.3 REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS

Para llevar a cabo los ensayos se contactó con un laboratorio externo que tiene las capacidades para realizar esta tarea, **Araeci S. XXI**, y se organizaron reuniones con el gerente para detallar los test a desarrollar. En estas reuniones se repasaron los planos para elegir los puntos críticos de los diseños y la prueba más apropiada para cada caso. Finalmente, los **ensayos escogidos** son:

- **Ensayos visuales y mediciones.** Utilizados para comprobar el cumplimiento de las tolerancias, así como la afectación que tiene la desviación de la cota en la funcionalidad.
- **Ensayo de partículas magnéticas.** Detecta defectos superficiales en las soldaduras en las uniones a tope y en ángulo. Además, este ensayo nos permite evaluar la calidad de plegados con radio muy pequeño.

Consiste en magnetizar el área próxima a la soldadura y aplicarle partículas magnéticas finas las cuales son atraídas por una distorsión en el campo magnético debido a una discontinuidad. [55]

- **Ensayo de tracción.** Nos va a servir para saber si el material utilizado coincide con el material solicitado en el plano. Consiste en mecanizar parte del componente en forma de probeta y mediante una máquina se tracciona hasta que se rompe la probeta, de modo que obtenemos la tensión a la que ha roto. [57]
- **Macrografías.** Analiza la calidad de las soldaduras en cuanto a defectos internos como poros, grietas o falta de fusión. Consisten en cortar y pulir una muestra para después aplicarle un ataque químico que revele las características estructurales del material. (Tamaño, forma y orientación de los granos; fases, inclusiones no metálicas; segregaciones^(20.)). [58]

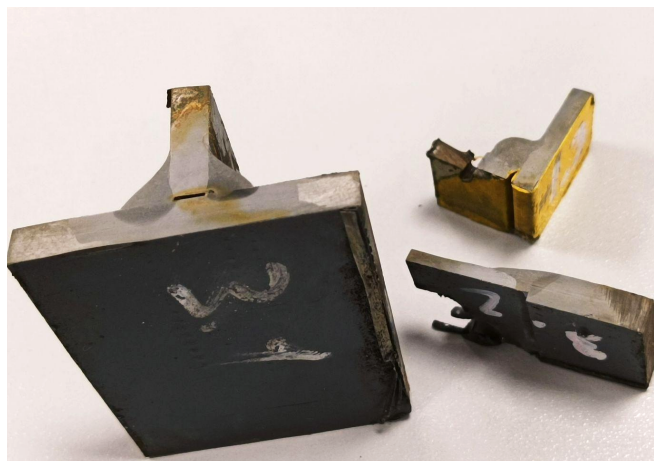


Figura 32. Ejemplos de macrografías realizadas

5. VALORACIÓN DE LOS RESULTADOS

Tras los ensayos, se procede a evaluar las discordancias encontradas con los planos, así como los fallos en el elemento por un proceso productivo deficiente, ya sea por limitaciones técnicas o por factores ajenos al control del proveedor.

5.1 MATERIAL Y PROCESOS DE FABRICACIÓN

5.1.1 ENSAYOS DE TRACCIÓN

Hubo **varias incidencias** de materiales que debían ser S275 y los ensayos mostraban S235. Como medida correctiva, se incluye la exigencia de los certificados de material de cada parte a los proveedores antes de producir un lote.

Cabe destacar el caso de la figura 33, donde se puede ver una gran variedad de materiales. Esta llega a incluir aceros electrocincados y aceros inoxidable, y soldarlos a otros que no lo son, tiene implicaciones como cambiar la técnica de soldadura entre otras.

Parts List						
	Pos	Qty	Partnumber	R/S	Name	Material
S235 JR	1	1	ESF0021007	R		0011 1312 00
AISI 304	2	1	ESF0015886	-		0011 2333 02
S275 JR	3	2	ESF0020223	-		0011 1412 00
S235 JR	4	1	ESF0016320	-		0011 1312 00
-	5	1	1633010614	-		See Standards
DC01	6	1	ESF0016406	R		0011 1142 32
S275 JR	7	1	ESF0020788	R		0011 1412 00
DC01	8	1	ESF0020835	-		0011 1142 32
S235 JR	9	1	ESF0023239	R		0011 1312 00
S275 JR	10	4	ESF0015830	R		0011 1412 00
DX51D+275-N-A	11	1	ESF0020227	-		0011 9047 90
S235 JR	12	1	ESF0020834	R		0011 1312 00
DC01+ZE 25/25 P	13	1	ESF0023240	R		0011 9049 90
S275 JR	14	1	ESF0020938	-		0011 1412 00

Figura 33. Extracto del cajetín de un plano

Se sospecha que algunos de esos materiales **no son necesarios**, ya que el plano es antiguo y puede estar desactualizado. Con los ensayos se busca obtener una simplificación para cambiar el plano con los materiales que se están utilizando actualmente.

Los resultados concluyeron que los materiales utilizados para las partes ensayadas son **todo S235 JR** y **un S275 JR** para la posición 10. Sin avisar de la realización del ensayo se pregunta al proveedor del elemento qué materiales son los que están usando en ese elemento y su respuesta coincide con los materiales de los ensayos. Se procede a enviar las conclusiones al departamento de ingeniería para que evalúen la posibilidad de cambiar este plano.

5.1.2 PLEGADOS

Algunos diseños necesitan hacerse con plegados, y estos, tienen radios muy pequeños (de hasta 1,25 mm). Por eso, no es raro pensar que si la plegadora ejecuta el movimiento demasiado rápido aparezcan **microfisuras** que pueden llegar a romper la pieza.

Para verificar que no se está dando ese caso, se ensayan los radios con partículas magnéticas. Y, como se puede ver en la tabla 10, no se encontró **ningún defecto** en los plegados.

Item inspeccionado: <i>Item tested:</i>	Referencia y situación: <i>reference and situation:</i>	Dimensiones (mm): <i>Dimensions (mm):</i>	Interpretación: <i>Interpretation:</i>	Evaluación: <i>Evaluation:</i>
Radio 1	-	-	-	A
Radio 2	-	-	-	A
Radio 3	-	-	-	A
Radio 4	-	-	-	A
-	-	-	-	-
A: Acceptable / Acceptable R: Rechazable / Rejectable				

Tabla 10. Ejemplo de los resultados del laboratorio sobre los plegados

5.2 TOLERANCIAS

Para evaluar el cumplimiento de la normativa respecto a las tolerancias, se han medido rigurosamente las cotas que los diseños consideran **críticas**, las cuales los planos marcan con un círculo. (ver Figura 34)

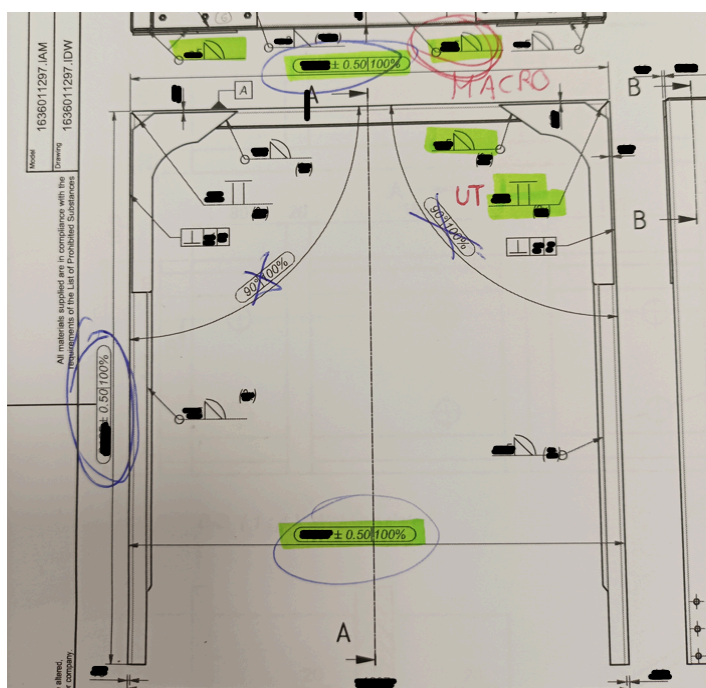


Figura 34. Plano con cotas críticas rodeadas en azul

Tras las mediciones se ha comprobado que, por lo general, el proveedor cumple con lo establecido con una marcada **excepción**, la del pórtico de la figura anterior:

Se comprobó que las medidas horizontales arriba y abajo estaban fuera de las tolerancias permitidas, y además, eran diferentes entre ellas. Como se puede ver en la figura 34, la tolerancia indicada es de $\pm 0,5$ mm para ambas. Las medidas se desviaban 2 y 3 milímetros, es decir, el pórtico se había abierto debido a los esfuerzos de las soldaduras.

Como la propia norma indica, si la funcionalidad no se ve afectada, el no cumplimiento de la tolerancia en sí mismo no implica el rechazo del elemento, de modo que se pidió a los operarios que probaran el **montaje** en un grupo. (ver Figura 35)



Figura 35. Prueba del montaje del pórtico con malas tolerancias

El montaje se produjo sin observaciones de importancia, pero se le pidió explicaciones al proveedor debido a que este componente no es económico. Éste, calificó de imposible una tolerancia de décimas de milímetro para una medida próxima a los 2 metros.

Para verificar esta información, se contactó a otra empresa para averiguar si esa tolerancia era conseguible y su precio de coste. Las tolerancias no eran conseguibles, pero sí mejorables, además de una **reducción del coste** cercana a **200€** (ver Figura 36), por lo que se acabó cambiando a este proveedor D.

CC: Miguel Sampedro <miguel.sampedro@external.atlascopco.com>

Asunto: RV: Cotización de Bancadas y piecerio

Hello,

Cotice con [REDACTED] por si podían fabricarla ellos, pero se van por 200 €.

¿Nos vamos adelante con [REDACTED]? 871,88€/ud.

Best regards,

Laura [REDACTED]

Purchasing Department

Power & Flow Division

Grupos Electrogenos Europa S.A.U

Visitor Address: Poligono Pitarco II, parcela 20. 50450 Muel. Spain

Figura 36. Correo decisión ahorro de coste

5.3 SOLDADURAS

La evaluación de los defectos se divide en dos: defectos superficiales (ensayo de partículas magnéticas) y defectos internos (macrografías).

5.3.1 DEFECTOS SUPERFICIALES

Los resultados del informe se proporcionan en una tabla que referencia la soldadura y una calificación de **A**, si la soldadura es **acceptable** o **R**, si **se rechaza**. (ver Tabla 11)

5. INDICACIONES DETECTADAS / DETECTED INDICATIONS

Item inspeccionado: Item tested:	Referencia y situación: reference and situation:	Dimensiones (mm): Dimensions (mm):	Interpretación: Interpretation:	Evaluación: Evaluation:
100 % soldadura	-	-	-	-
Zona 1	-	-	-	A
Zona 2	Ver foto	-	Cráter	R
Zona 3	Ver foto	-	Empalme y cráter	R
Zona 4	-	-	-	A
A: Acceptable / Acceptable R: Rechazable / Rejectable				

Tabla 11. Ejemplo de resultado de partículas magnéticas

Los defectos más significativos fueron:

- **1 fisura** en el cráter y 1 defecto de **falta de cordón**, en la torre de iluminación (Figuras 37 y 40)
- **1 cráter**, en la ZBP (Figura 43)

El cráter de la Torre de Iluminación se corresponde con el defecto descrito en el Anexo IV como "crater crack".

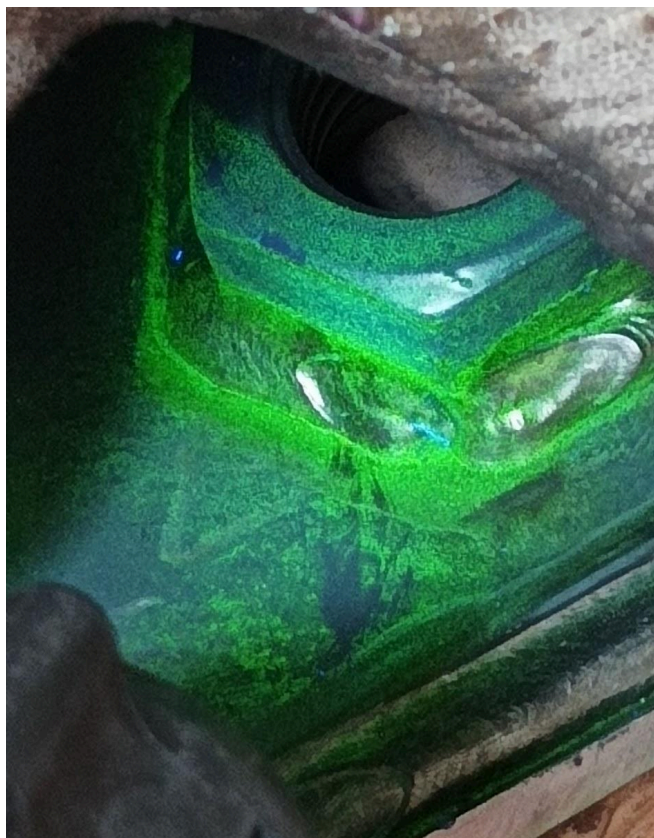


Figura 37. Fisura en un cráter, torre de iluminación

La norma indica que este defecto **no está permitido** (Figura 38). Consiste en la aparición de una fisura en un rechupe que se produce por el enfriamiento (cráter). El cráter en sí no implica la aparición de la fisura, pero si esta aparece, siempre pone en peligro la soldadura.

Crater crack	Not permitted
--------------	---------------

Figura 38. Extracto del Anexo IV de este defecto y su valor límite

En cualquier caso, la soldadura no es tan crítica, pues como se puede apreciar en la figura 39, tras enroscar el cáncamo en la tuerca soldada, deja de ser la única que une la tuerca al resto del elemento.

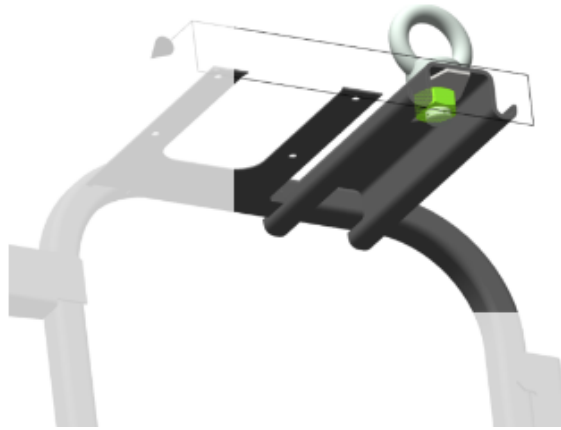


Figura 39. Detalle de la unión en la tuerca

El defecto en el empalme se trata de una **falta de cordón** de soldadura (ver Figura 40). Contradice el plano donde indica que este cordón debe ser continuo.



Figura 40. Defecto en el cordón de soldadura

Este defecto aparece en la norma ISO 5817 como “*Poor restart*” ya que tras el parón de soldadura, deja una parte sin cordón antes de empezar de nuevo. Este fallo no está permitido en ningún caso. (ver Figura 41)

Poor restart	Not permitted.	
--------------	----------------	--

Figura 41. Extracto del Anexo IV donde aparece el defecto y su valor límite

Esta soldadura se encuentra en el soporte que se atornilla a la torre de iluminación y cuya rotura provocaría que el sistema de elevación **se separase** del resto del grupo. (Figura 42)



Figura 42. Detalle de los elementos donde se han dado los defectos

Este defecto se ha encontrado en 2 de las 4 patas analizadas, lo cuál significa que el defecto tiene cierta **repetibilidad** y su inspección debe tener más prioridad en el proceso de validación.

A su vez, en la ZBP, se ha dado **un cráter** en la soldadura que une la viga vertical con la horizontal. (ver Figura 43)



Figura 43. Cráter en el cordón de soldadura de la ZBP

Los requisitos provenientes de la ISO 5817 recogen este defecto bajo el nombre de “*end crater pipe*”. Está parametrizado como *fillet weld*, en una chapa de 3 mm. (ver Anexo IV) por lo que la soldadura tiene **dos valores límite** a cumplir. (ver Figura 44)

$$h \leq 0,2 * a$$

$$d \leq 0,3 * a$$

Figura 44. valores límite aceptables de la soldadura

Los valores de h , d y a se han de medir en el defecto, la figura 45 indica dónde se han de realizar tales mediciones.

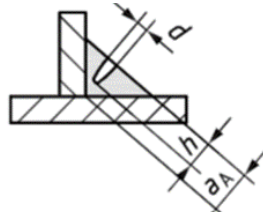


Figura 45. Representación de las variables a medir

Las mediciones resultan de $h = 0,48$, $d = 4,9$, $a = 6$ [mm], incumpliendo la condición de diámetro y calificando la soldadura como **rechazable**. (ver Figura 46)

$$d = 4,9 > 0,3 * a = 1,8$$

Figura 46. incumplimiento de las condiciones

La viga vertical es la que va a soportar los esfuerzos de tracción en la elevación del grupo, por lo que de fallar esa soldadura, la viga vertical podría llegar a ser arrancada (ver Figura 47). Por ello se hace una anotación especial al ingeniero del departamento de evaluar siempre la calidad de esa soldadura.

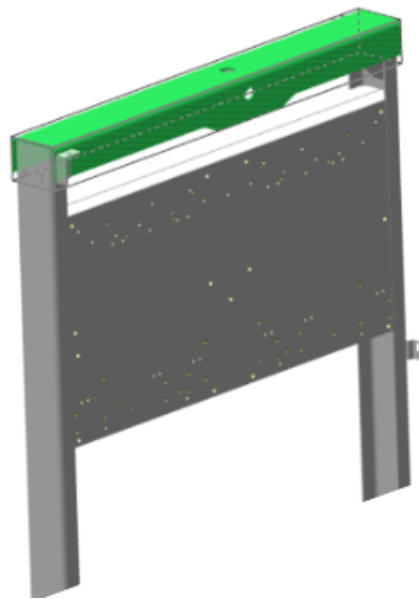


Figura 47. ZBP, detalle de viga horizontal y viga lateral

5.3.2 DEFECTOS INTERNOS

Aunque se han apreciado diversos defectos internos, no todos son suficientes para rechazar la pieza, se procede a explicar algunos ejemplos sobre una soldadura aceptable, un defecto aceptable y un defecto no aceptable.

- **Soldaduras aceptables:** se puede apreciar que no hay defectos y que la soldadura no tiene falta de fusión ni penetración. Las imágenes de la figura 48 se proporcionan al ingeniero del departamento de calidad para que tenga una muestra y sepa evaluar la aceptabilidad de las soldaduras más fácilmente.



Figura 48. Soldaduras correctas en ángulo y a tope

- **Soldaduras con defectos aceptables:** A veces, debido a la geometría de la pieza no se puede unir las chapas por completo y quedan huecos, que no tienen que ver con una deficiencia en la soldadura (ver Figura 49).

Es importante que el ingeniero pueda distinguir estos defectos y sepa que no afectan a la calidad de la unión para que acepte el componente y no se generen cuellos de botella innecesarios en la producción.

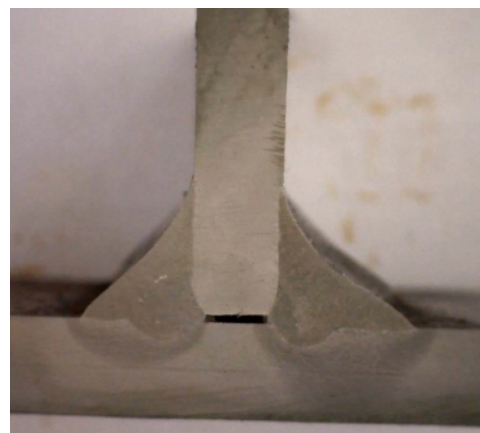
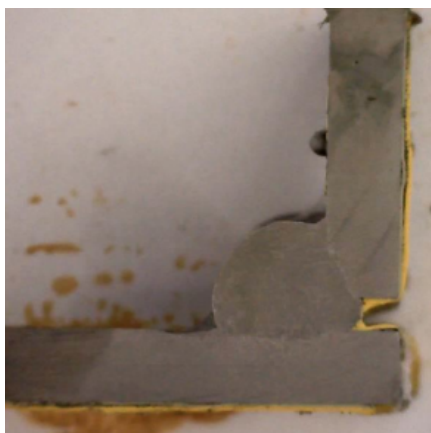


Figura 49. Defectos aceptables en las soldaduras

- **Soldaduras rechazables:** Se ha detectado un agujero interno en una de las soldaduras críticas marcadas debido a falta de fusión (ver Figura 50).

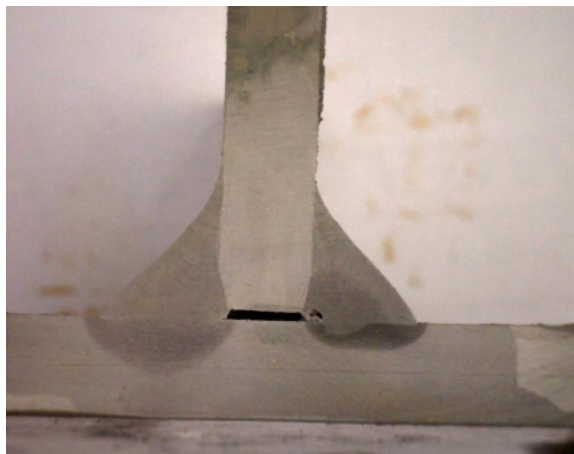


Figura 50. Soldadura rechazable

El requisito especificado proviene del defecto “*Shrinkage cavity*” (ver Anexo IV) y nos indica que la dimensión transversal máxima del defecto (h), debe ser **menor o igual** a $0,4 \cdot a$ (siendo a la garganta). En este caso el defecto medía 2 mm y la garganta era de 4 mm. Por lo que:

$$h = 2 > 1,6 = 0,4 \cdot a$$

Figura 51. Extracto de la fórmula necesaria del Anexo IV

No es fácil determinar la causa de este defecto a posteriori, no obstante, las causas más comunes son una baja corriente de soldadura y una velocidad de avance demasiado rápida. Por ello, se crean unas **instrucciones** para estas soldaduras que incluyen medir la corriente con una pinza amperimétrica antes de soldar las piezas y se especifica una velocidad de avance a seguir.

6. IMPACTO ECONÓMICO DEL ESTUDIO

Para comprobar la rentabilidad del estudio para la empresa se va a realizar un análisis económico. Para ello, se van a recoger las variables que se consideran parte de la inversión y se van a especificar las que contribuyen al ahorro.

Después, se enfrentarán esas variables mediante algunos criterios, como el VAN^(14.), el TIR^(15.) y el payback, que permiten analizar la rentabilidad.

6.1 INVERSIÓN EN EL ESTUDIO

6.1.1 SALARIO DEL TRABAJADOR

La inversión principal a considerar es el salario del trabajador que ha estado invirtiendo su tiempo en realizar el estudio y en consecuencia, no produciendo valor inmediato para la empresa. Se establece que el trabajador es titulado en ingeniería y le cuesta a la empresa el salario medio de un ingeniero en España, es decir alrededor de los **37.900 €/año**. [41]

Se va a considerar que el trabajador ha dedicado el 50% de su jornada laboral a realizarlo y que su salario se divide en 12 pagas al año. Por lo que la inversión de la empresa en el trabajador ha sido de **1579,16 €/mes** durante los 4 meses que ha durado el proyecto.

6.1.2 PRESUPUESTO PARA LOS ENSAYOS

El presupuesto se ha calculado determinando en los planos qué soldaduras y materiales son críticos para la elevación de la máquina. Posteriormente, se decide con el gerente del laboratorio los ensayos a realizar para analizar posibles defectos y después, se recibe el presupuesto que, como muestra la figura 52, es de **2695 €**.



Valoración	VALOR €/Ud	UDS	TOTAL €
END			
Inspección Partículas magnéticas y/o Ultrasonidos	70	14,5	1015
ED			
Mecanizado de probetas Tracción	35	14	490
Ensayo de tracción	40	14	560
Mecanizado de probetas Macrografía	20	14	280
Macrografía	25	14	350
TOTAL	-	-	2695

Figura 52. Presupuesto para los ensayos experimentales

6.1.3 RECURSOS DE ATLAS

Los modelos ensayados son separados del resto de su respectivo lote y no podrán ser utilizados después para crear grupos a vender por la empresa (se someten a ensayos destructivos). Consecuentemente se les considera parte de la inversión realizada.

Se consulta el precio al que Atlas adquiere un elemento por medio de la función PUR 300 de BPCS (ver Anexo I.II). En la tabla 12 se muestra la expectativa de coste de cada modelo y el coste total de estos recursos.

Referencia	Descripción	Coste/unidad [€]
1636030816	BEAM RIGHT/LEFT	52,72
1636011297	LIFTING BEAM	1065
1636011296	BEAM (CÁNCAMO)	260
1636035182	LIFT.BEAM ASSY (TORRE ILUM)	126,49
1636044858	LIFT.BEAM ASSY (ZBP)	297
COSTE TOTAL		1801,21

Tabla 12. Resumen de los costes de los recursos de Atlas Copco

6.1.4 SOFTWARE Y NORMATIVA ISO

Como se ha mencionado anteriormente, se va a incluir el precio de las normas ISO que se han consultado ya que no se tiene acceso al dinero que paga Atlas por el convenio que le otorga el derecho a leerlas. De este modo, se calcula una parte proporcional del dinero que se ha utilizado en la normativa y el software. En la tabla 13 se puede ver el resumen de este gasto.

Norma ISO	Coste [€]
ISO 5817	121
ISO 17635	89
ISO 3834 - 1	37
ISO 3834 - 2	58
ISO 3834 - 3	58
ISO 3834 - 4	37
ISO 3834 - 5	58

Norma ISO	Coste [€]
ISO 9712	163
ISO 14731	58
Software utilizado	121
COSTE TOTAL	800

Tabla 13. Resumen de los costes de la normativa utilizada

6.2 VARIABLES QUE POTENCIAN EL RENDIMIENTO DE LA INVERSIÓN

6.2.1 FUTURO TIEMPO CONSERVADO

Tener unos requisitos claros sobre lo que se debe solicitar y cómo solicitarlos provoca un mejor aprovechamiento del tiempo lo cuál mejora la productividad de la empresa. En este apartado se estima el dinero ahorrado en base al tiempo conservado por el estudio. Los cálculos de las conclusiones redactadas se muestran en el Anexo VI.I.

Para aproximar el número de beams a validar en un año cogeremos los datos de 2023. La cantidad total se obtiene de la tabla presentada en la figura 14 y resulta de **2275 beams**.

La empresa cierra 36 días al año entre festivos y el cierre en verano, por lo que podemos estimar que está abierta **11 meses/año**.

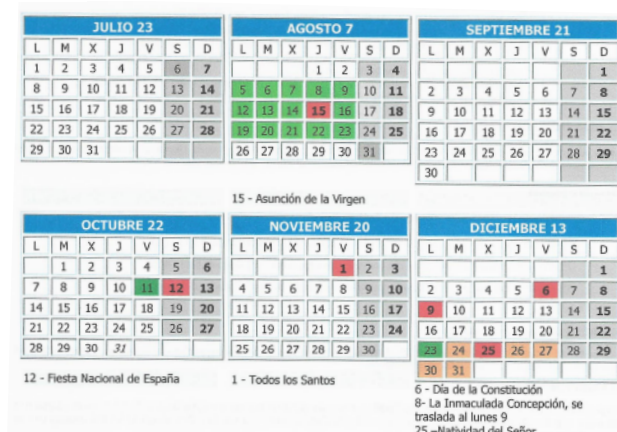


Figura 53. Fragmento del calendario de festivos de 2024

Estos datos concluyen que cada mes, llegan 207 pódicos a Atlas Copco. Las beams usualmente vienen en lotes de 10, y se valida una por lote, a menos que no sea aceptada, en cuyo caso se hace otra prueba. Para calcular las beams que se evalúan se tiene en cuenta la estadística de PPM^(19.) del proveedor de estas. El número resultante acaba siendo **22 beams/mes** a comprobar.

Para estimar el tiempo ahorrado, se pide al empleado encargado de validar estos elementos que fíche antes de empezar el proceso y al terminarlo. Las gráficas siguientes muestran el tiempo transcurrido.

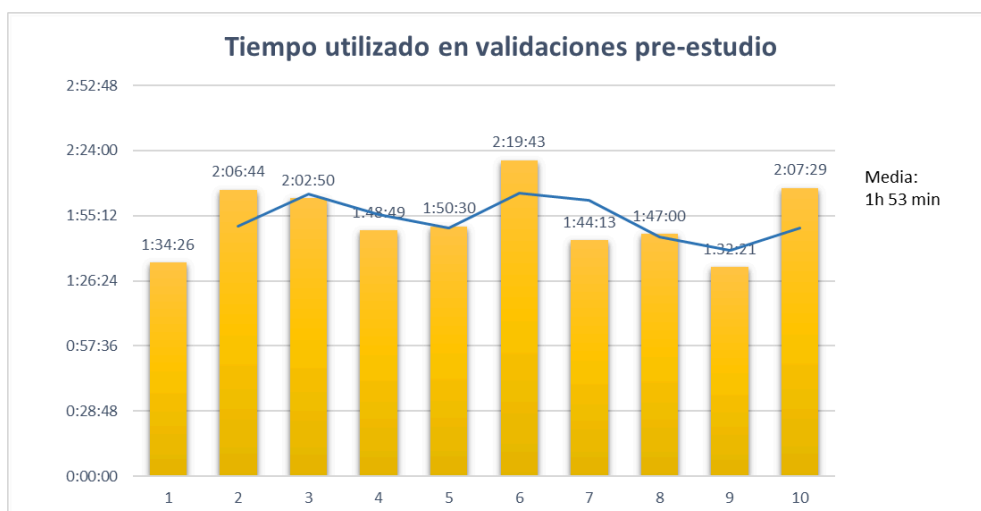


Figura 54. Tiempo utilizado en 10 validaciones previo al estudio

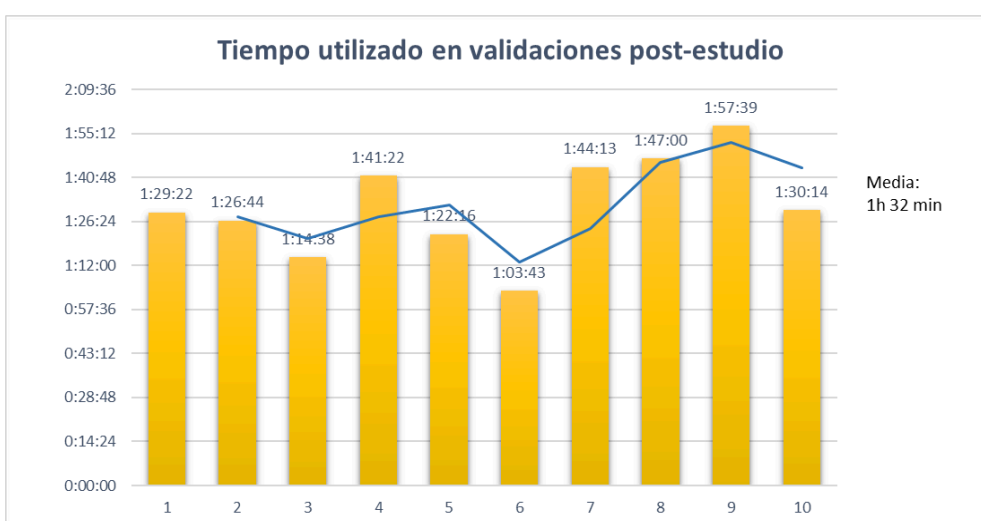


Figura 55. Tiempo utilizado en 10 validaciones tras el estudio

Con estos datos, se estima una diferencia media de **21 minutos/validación**. Al evaluarse 22 beams/mes, podemos aproximar que se ahorran 7h 42 minutos al mes.

Se toma el salario medio de un ingeniero al mes [41] y las horas que trabaja al mes y se aproximan 19,74 €/hora.

Finalmente, multiplicando: $7,7 \left[\frac{\text{€}}{\text{h}} \right] * 19,74 \left[\frac{\text{h}}{\text{mes}} \right]$ obtenemos un ahorro de **151,99 [€/mes]**.

6.2.2 HIPÓTESIS CASO 2: ACCIDENTE EVITADO

Si uno de estos elementos falla y la máquina cae y se rompe, la empresa se hace económicamente responsable de la máquina y daños físicos que pueda provocar.

- El coste de los modelos que llevan este sistema de elevación varía en un rango que va de 662,46 a 30.991,31 euros [42]. Para simplificar la estimación se va a tomar un precio medio, **15.826,88 €**
- Sí bien es cierto que la empresa se responsabiliza de cualquier daño humano que pudiera provocar un fallo tal [46], el pago de la indemnización la hace el seguro [43], el cuál la empresa paga independientemente de que haya un accidente, por lo que esta variable no provoca variaciones en la rentabilidad.

6.3 ANÁLISIS DE LA RENTABILIDAD

Para este análisis se van a tener en cuenta **dos escenarios**, los cuales se irán comparando en cada punto del análisis. La diferencia entre los casos es la inclusión del ahorro de un accidente evitado gracias al estudio.

En el caso 1, se analizan los datos reales, y en el caso 2, se añade la hipótesis de que si no se hubiera realizado el estudio habría ocurrido un accidente al cabo de **dos años**.

6.3.1 VAN

Esta técnica calcula el valor presente de todos los flujos de efectivo futuros relacionados con la inversión para conocer cuánto se va a ganar o perder con ella. El VAN ayuda a entender si un proyecto vale la pena desde el punto de vista económico, considerando el valor del dinero a lo largo del tiempo. [47]

El VAN se calcula con la siguiente fórmula:

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^t \frac{C_t}{(1+d)^t}$$

Figura 56. Fórmula general del VAN [48]

- I_0 : es la inversión inicial
- C_t : es el flujo de caja del mes t .
- t : nº de meses desde el presente
- d : tasa de descuento mensual

Para calcular la tasa de descuento utilizaremos la siguiente fórmula:

$$d_{anual} = \frac{i}{1 + i}$$

Figura 57. Fórmula de la tasa de descuento anual [49]

La i es la tasa de interés que se obtiene mediante la suma de:

- El tipo de interés en España [50]: 1,1%
- La inflación anual España [51]: 3,3%
- La prima de riesgo en España [52]: 0,75%

De este modo, la i resulta de 5,15% y la tasa de descuento anual es de 4,89%. Mediante la fórmula de la figura 58, se transforma a tasa de descuento mensual, obteniendo una tasa de descuento mensual de **$d = 0,4\%$**

$$d_{mensual} = (1 + d_{anual})^{1/12} - 1$$

Figura 58. Transformación a tasa de descuento mensual.

Para ver el resto de las operaciones ver Anexo VI.II. Acaba resultando un **VAN = 25.847,90 €** para el caso 1.

Para el caso 2, los cálculos son los mismos a diferencia de que en $t=24$ ocurre el accidente ya valorado en 15.826,88 €. Para este caso el **VAN = 40.228,8 €**

Sí el $VAN < 0$, significa que la inversión no es rentable y genera pérdidas. Si el $VAN = 0$ no genera pérdidas ni beneficios, y por último si el $VAN > 0$, significa que la inversión realizada acabará generando beneficios.

En este caso, como podemos ver, resulta una **inversión rentable**. No obstante, se procede a calcular el tiempo de amortización, para así saber, cuánto tiempo se tardará en recuperar la inversión inicial.

6.3.2 TIEMPO DE AMORTIZACIÓN

En las figuras 59 y 60 se muestra la evolución de la rentabilidad a lo largo de los próximos 10 años para ambos casos, donde se puede apreciar en qué momento se empiezan a generar beneficios y por tanto, se puede calcular el tiempo de amortización. [53]

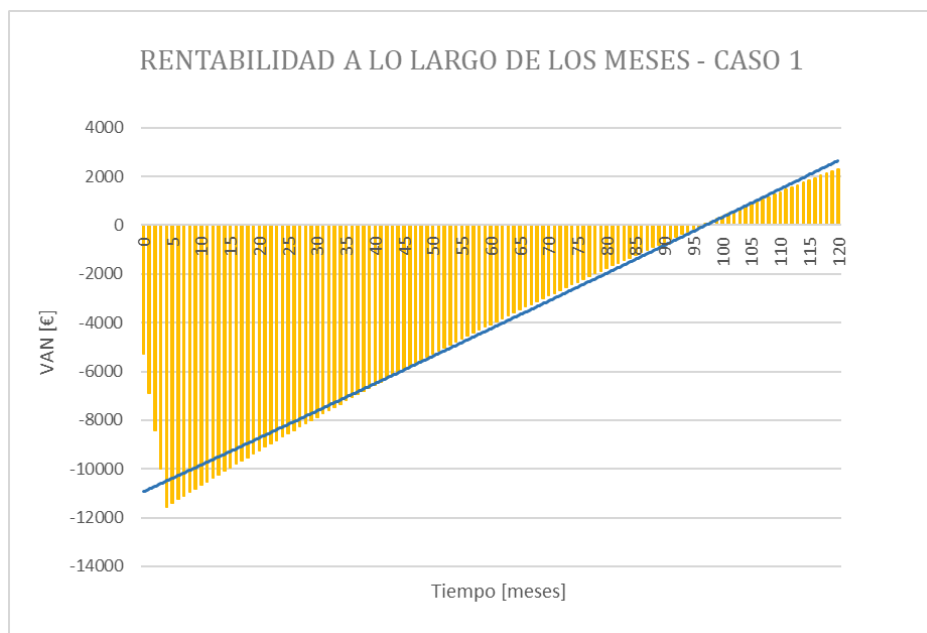


Figura 59. Evolución de la rentabilidad para el caso 1

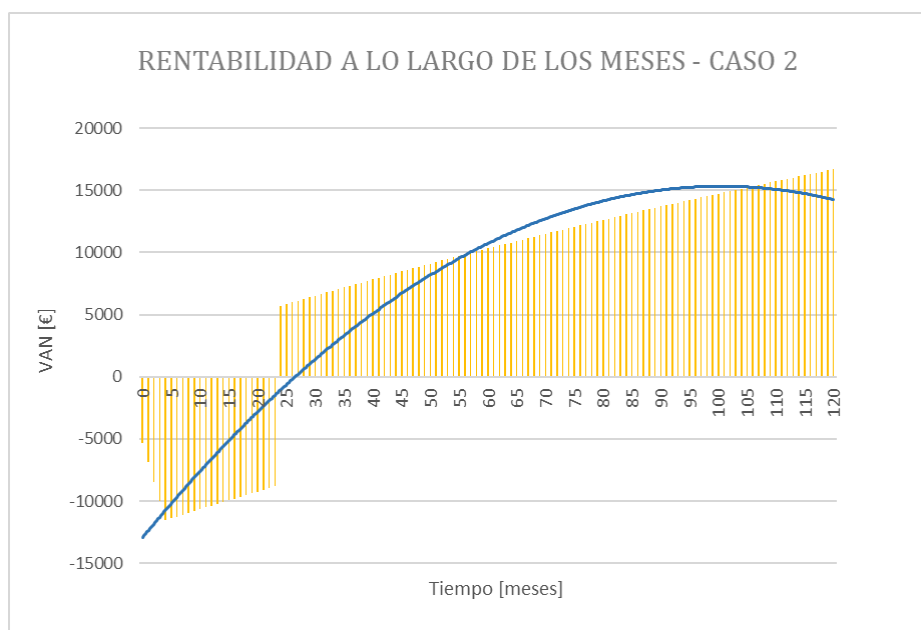


Figura 60. Evolución de la rentabilidad para el caso 2

- Tiempo amortización - caso 1 $\approx 96,5$ meses (**8 años**).
- Tiempo de amortización - caso 2 = 24 meses (**2 años**).

Como podemos ver, considerar el ahorro de un accidente es el **elemento diferencial**, ya que significa generar beneficios en el momento que supones que habría ocurrido. Sin embargo, podemos concluir que la inversión acaba siendo rentable en un plazo no demasiado largo en ambos casos.

6.3.3 TIR

El TIR es una medida que nos aporta información acerca de cuál es el tipo de interés que debemos lograr para que la rentabilidad obtenida de la inversión sirva para cubrir todos los costes de la misma. [54]

La forma de analizar el TIR es la siguiente: Si la tasa de descuento (d) > TIR, el proyecto no es viable, porque nos cuesta más financiar el proyecto que lo que obtenemos a largo plazo por la inversión.

Para calcular el TIR mínimo se utiliza la siguiente fórmula:

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

Figura 61. Fórmula general del TIR [54]

Se obtienen unos valores de **1,266%** para el caso 1 y **3,363%** para el caso 2 (cálculos en Anexo VI.II). Ambos TIR mensuales están por encima de la tasa de descuento mensual del 0,4%. En definitiva, el TIR acaba siendo mayor que la tasa de descuento, representando un porcentaje de ingresos obtenido como consecuencia de la inversión.

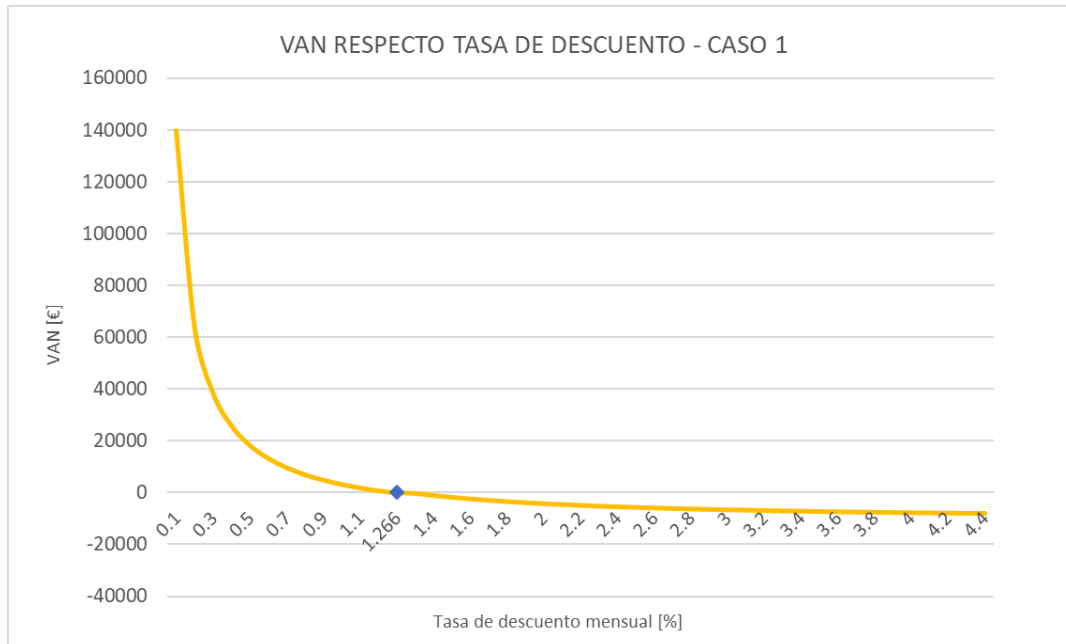


Figura 62. Relación entre el VAN y el TIR para el caso 1

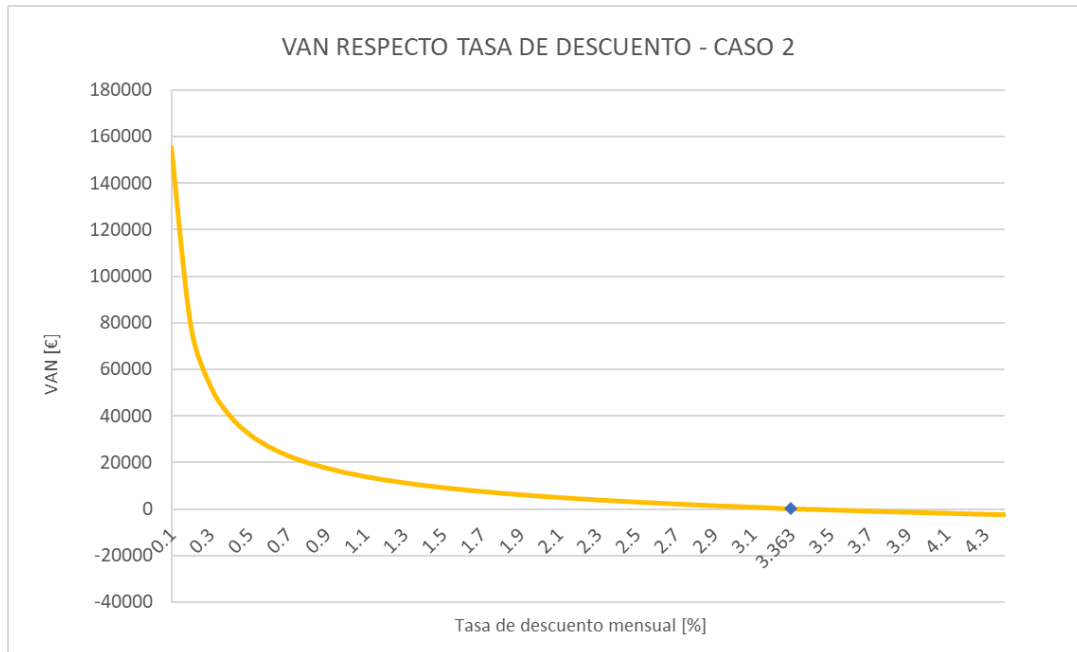


Figura 63. Relación entre el VAN y el TIR para el caso 2

7. CONCLUSIONES FINALES

El estudio realizado concluye que las vigas y pórticos de elevación, aunque no habían sido previamente analizados, generalmente se producían con calidad, indicando una buena elección de los proveedores. Aun así, se han preparado una **serie de requisitos** para prevenir futuras incidencias, así como un accidente derivado de ellas.

También, se ha **documentado** toda la información obtenida sobre los defectos aparecidos, su localización, repetibilidad en los ensayos y los requisitos establecidos. Esta información proporciona al departamento de calidad un estándar de validación claro y un conocimiento de los valores esperados en los informes de ensayo, **facilitando la validación** de futuros informes del proveedor.

En cuanto a las incidencias en soldaduras, se realizaron mediciones de los defectos para comprobar su incumplimiento respecto a los requisitos especificados, estableciendo así un **criterio de rechazo de soldaduras**. Además, se han aportado requisitos adicionales no relacionados con los ensayos, que han sido de utilidad en las validaciones.

El incumplimiento de tolerancias en un modelo llevó a buscar un nuevo proveedor, descubriendo que se exigía **excesiva precisión** para un elemento de gran envergadura. No obstante, estas tolerancias mejoraron respecto al anterior proveedor, **reduciendo además el precio** para Atlas.

Debido a las frecuentes discordancias de los ensayos respecto a los materiales de los planos, ahora se exige al proveedor **certificados** de materia prima previo a la producción de cada lote. Por otro lado, en el caso de la torre de iluminación, se promueve un cambio de plano para actualizar y clarificar la información que aparece en él.

Se realizó un análisis económico para evaluar la viabilidad de la inversión en dos escenarios. El primero considera los hechos ocurridos y resulta en un **VAN de 25.847,90 €**, un **TIR mensual de 1,266%** y un periodo de amortización cercano a **8 años**.

El segundo, añade la hipótesis de un potencial accidente evitado gracias a la realización del estudio. Resulta un **VAN de 40.228,8 €**, un **TIR mensual de 3,363%** y un periodo de amortización de **2 años**, momento en el que ocurre el accidente.

A pesar de la gran influencia de la hipótesis en la rentabilidad, la inversión es **viable en ambos casos** por lo que el objetivo de mejorar la productividad del departamento se puede considerar un éxito liberando 1 jornada de trabajo/mes para emplear en otras actividades. Tras los resultados, la empresa planea repetir este mismo formato y proceso para auditar a otros proveedores que quedaban fuera del alcance de este estudio.

BIBLIOGRAFÍA

1. La importancia de la estandarización y normalización en la industria actual. Blog Polaridad. [Consultado el 8 de abril de 2024]. Disponible en: [La importancia de la estandarización y normalización en la industria actual - Polaridad.es](#)
2. López Sevilla, G., Medina Chicaiza, P., Freire Aillón, T. y Fiallos López, W. 2019. Caracterización de tecnologías "SAAS" como medio para la optimización de recursos Ti. Revista Científica Sinapsis. 2, 13 (ene. 2019). DOI: <https://doi.org/10.37117/s.v2i13.146>
3. Onni Syvälahti, Panu Erästö. Industrial Internet of Things in the Lifting Industry. (2021). [Consultado el 8 de abril de 2024]. Disponible en: <https://aaltodoc.aalto.fi/server/api/core/bitstreams/content>
4. Bhojar, P. et al., 2018: Communication technologies and security challenges for internet of things: A comprehensive review. International Journal of Electronics and Communications. Volume 99. Viewed 5th July 2021. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.aeeu.2018.11.031>
5. Montes, J. R., Martínez, L. C., & del Real Romero, J. C. (2006). Procesos industriales para materiales metálicos: (2ª Edición). Vision Libros. [Consultado el 8 de abril de 2024]. Disponible en: <https://books.google.es/books?id=SVBGgraQiREC&lpg=PA1&ots=2sbqeNBSjj&dq=requisitos%20de%20material%20para%20maquinas%20industriales&lr=es&hl=es&pg=PA9#v=onepage&q=requisitos%20de%20material%20para%20maquinas%20industriales&f=false>
6. MONTES MARTOS, J. M., GÓMEZ CUEVAS, F., CINTAS FÍSICO, J. (2014). Ciencia e ingeniería de los materiales. España: Ediciones Paraninfo, S.A. Disponible en: https://www.google.es/books/edition/Ciencia_e_ingenier%C3%ADa_de_los_materiales/WRFZDwAAQBAI?hl=es&gbpv=1&dq=materiales+de+ingenieria&printsec=frontcover
7. Kalpakjian, S., Schmid, S. R. (2002). Manufactura, ingeniería y tecnología. México: Pearson Educación. Disponible en: https://www.google.es/books/edition/Manufactura_ingenier%C3%ADa_y_tecnolog%C3%ADa/gilYI9_KKAoC?hl=es&gbpv=1&dq=elasticidad+aleaciones+ferreas&pg=PA174&printsec=frontcover
8. Hooke, R. (2003). Micrographia. Dover Publications. Disponible en: [The Project Gutenberg eBook of Micrographia, by Robert Hooke](#)
9. Bard, A. J., & Faulkner, L. R. (2001). Electrochemical Methods: Fundamentals and Applications (2nd ed.). Wiley. Disponible en: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/acmm.2003.12850eae.001/full/html>
10. Mohamed, A.M.A & Shakoor, Abdul & Okonkwo, Paul. (2015). ENVIRONMENTAL FACTORS AFFECTING CORROSION OF PIPELINE STEEL: A REVIEW. International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development (IJMPERD). 5. 57-70. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/285235792_ENVIRONMENTAL_FACTORS_AFFECTING_CORROSION_OF_PIPELINE_STEEL_A_REVIEW
11. Guía De Tolerancia General: Norma ISO 2768 1 Y 2. [Consultado el 10 de abril de 2024]. Disponible en: [guía de tolerancia general - Norma ISO 2768 1 y 2 \(dekmake.com\)](#)
12. Descripción general del estándar de tolerancias ISO 286. [Consultado el 10 de abril de 2024]. Disponible en: [ISO 286 Tolerances Standard Overview - LEADRP - Rapid Prototyping And Manufacturing Service](#)
13. Norma ISO 14405: Geometrical Product Specifications (GPS) - Dimensional tolerancing. International Organization for Standardization. (2018).
14. Apuntes de la asignatura Criterios de diseño de máquinas, J. Abad Blasco, 2021-2022. Diseño por resistencia estática. [Consultado el 5 de mayo de 2024].
15. ISO 1101:2017(en) Geometrical product specifications (GPS) — Geometrical tolerancing — Tolerances of form, orientation, location and run-out. [Consultado el 11 de abril de 2024]. Disponible en: <https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:1101:ed-4:v1:e>
16. Veloz, Willian. (2021). Soldadura en la Ingeniería: Una Revisión Sistemática de la Literatura. Welding in Engineering: A Systematic Review of the Literature.. 10.13140/RG.2.2.16611.89121. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/350733800_Soldadura_en_la_Ingenieria_a_Una_Revision_Sistemica_de_la_Literatura_Welding_in_Engineering_A_Systematic_Review_of_the_Literature

17. Tipos de soldadura: una guía completa sobre las diferentes técnicas disponibles. [Consultado el 11 de abril de 2024]. Disponible en: <https://polaridad.es/que-tipos-de-soldadura-existen/#:~:text=En%20este%20art%C3%ADculo%2C%20exploraremos%20los%20cuatro%20tipos%20de,por%20gas%3A%20...%204%204.%20Soldadura%20por%20ultrasonidos%3A>
18. Cuáles son los tratamientos superficiales más usados para el acero. [Consultado el 15 de abril de 2024]. Disponible en: <https://polaridad.es/tratamientos-superficiales/#:~:text=A%20continuaci%C3%B3n%2C%20se%20presentan%20algunos%20de%20los%20tratamientos>
19. Diferencia entre zincado y galvanizado. [Consultado el 15 de abril de 2024]. Disponible en: <https://ingemecanica.com/articulos/diferencia-entre-zincado-y-galvanizado-que-es-mejor.html>
20. Diferencia entre zincado y galvanizado. [Consultado el 15 de abril de 2024]. Disponible en: <https://elmundoinfinito.com/diferencia-zincado-galvanizado/>
21. Cerdán, B. G. (2018). Influencia del galvanizado en caliente, en las propiedades mecánicas del acero de la barra corrugada, Norma ASTM A-615, Grado 60, para prevenir la corrosión en las estructuras de concreto armado (Tesis de licenciatura). Repositorio de la Universidad Privada del Norte. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/11537/15277>
22. Manual de seguridad de los útiles de elevación de cargas. [Consultado el 16 de abril de 2024]. Disponible en: <https://prevencion.fremap.es/Buenas%20prcticas/LIB.015%20-%20M.S.%20Utiles%20Elevacion%20Cargas.pdf>
23. Reglamento de Aparatos de Elevación y Manutención de los mismos. [Consultado el 16 de abril de 2024]. Disponible en: [Ministerio de Industria y Turismo - Reglamento de Aparatos de Elevación y Manutención de los mismos](#)
24. European Committee for Standardization (CEN). (2003). EN 13414:2003+A1:2008. "Steel wire rope slings - Safety.". Citada en: [invassat castellanos puchau 201210 \(gva.es\)](#)
25. European Committee for Standardization (CEN). (2008). EN 818-4:2008. "Short link chain for lifting purposes - Safety." Citada en: [invassat castellanos puchau 201210 \(gva.es\)](#)
26. Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (España). (2008). Documento Básico SE-A: Seguridad Estructural - Acero. Código Técnico de la Edificación (CTE). [Consultado el 17 de abril de 2024]. Disponible en: <https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/SE/DBSE-A.pdf>
27. Atlas Copco Standard. 1350 - K , General tolerances and standard references. [Consultado el 2 de mayo de 2024]. Disponible en: http://airsbeap4125/StandardDB/StandardDocuments/en_1350_K_ed10.pdf
28. Atlas Copco Standard. 6885 - K , Numerical codes for welding, brazing and soldering processes. [Consultado el 2 de mayo de 2024]. Disponible en: http://airsbeap4125/StandardDB/StandardDocuments/en_6885_K_ed3.pdf
29. Atlas Copco Standard. 6892 - K , Quality levels for arc welded joints of steel. [Consultado el 2 de mayo de 2024]. Disponible en: http://airsbeap4125/StandardDB/StandardDocuments/en_6892_%20K_ed8.pdf
30. Atlas Copco Standard. 1356 - K , Indirectly stated tolerances for fusion welding. [Consultado el 2 de mayo de 2024]. Disponible en: http://airsbeap4125/StandardDB/StandardDocuments/en_1356_K_ed4.pdf
31. International Organization for Standardization. (2014). ISO 5817:2014 Welding - Fusion-welded joints in steel, nickel, titanium and their alloys (Quality levels for imperfections). [Consultado el 6 de mayo de 2024]
32. British Standards Institution. (2008). TR 15135:2008 Welding - Recommendations for welding of metallic materials - Part 1: General guidance for arc welding. [Consultado 6 de mayo de 2024]
33. International Organization for Standardization. (2016). ISO 17635:2016 Non-destructive testing of welds - General rules for metallic materials. [Consultado el 6 de mayo de 2024]
34. International Organization for Standardization. (2005). ISO 3834-1:2005 Quality requirements for fusion welding of metallic materials — Part 1: Criteria for the selection of the appropriate level of quality requirements. [Consultado el 6 de mayo de 2024]
35. International Organization for Standardization. (2005). ISO 3834-5:2005 Quality requirements for fusion welding of metallic materials — Part 5: Documents with which it is necessary to conform to claim conformity to the quality requirements of ISO 3834-2, ISO 3834-3 or ISO 3834-4. [Consultado el 6 e mayo de 2024]

36. International Organization for Standardization. (2005). ISO 3834-2:2005 Quality requirements for fusion welding of metallic materials — Part 2: Comprehensive quality requirements. [Consultado el 6 de mayo de 2024]
37. International Organization for Standardization. (2005). ISO 3834-3:2005 Quality requirements for fusion welding of metallic materials — Part 3: Standard quality requirements. [Consultado el 6 de mayo de 2024]
38. International Organization for Standardization. (2005). ISO 3834-4:2005 Quality requirements for fusion welding of metallic materials — Part 4: Elementary quality requirements. [Consultado el 6 de mayo]
39. International Organization for Standardization. (2012). ISO 9712:2012 Non-destructive testing — Qualification and certification of personnel. [Consultado el 6 de mayo]
40. International Organization for Standardization. (2024). ISO 3834-6:2024 Quality requirements for fusion welding of metallic materials — Part 6: Guidelines on implementing ISO 3834. [Consultado el 8 de mayo]
41. ¿Cuánto Cobra un Ingeniero? (Sueldo 2024). [Consultado el 15 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://www.jobted.es/salario/ingeniero>
42. Catálogos - Atlas Copco España. Disponible en: <https://www.atlascopco.com/es-es/itba/about-industrialtechnique/brochures-and-catalogs/catalogs>
43. Todas las indemnizaciones por accidente laboral. [Consultado el 17 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://www.cuestioneslaborales.es/prestacion-e-indemnizacion-por-accidente-laboral/>
44. Indemnización por fallecimiento en accidente laboral: quién paga, cuánto y a quién. Disponible en: <https://onandia-abogados.com/blog/indemnizacion-fallecimiento-accidente-laboral/>
45. El Grupo Atlas Copco CÓDIGO DE PRÁCTICA EMPRESARIAL. [Consultado el 20 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://www.atlascopco.com/content/dam/atlas-copco/local-countries/Spanish/ES.pdf>
46. The way we do things - Atlas Copco. [Consultado el 20 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://onevirtualoffice.sharepoint.com/:u:/r/sites/ACMS-TWWDT/SitePages/TWWDT-21.01.aspx>
47. Valor actual neto (VAN) - Qué es y cómo utilizarlo - Economipedia. [Consultado el 20 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://economipedia.com/definiciones/valor-actual-neto.html>
48. Brealey, R. A., Myers, S. C., & Allen, F. (2020). Principles of Corporate Finance (14th ed.). McGraw-Hill Education. [Consultado el 20 de mayo 2024]
49. Qué es y cómo calcular la tasa de descuento en proyectos financieros - La Compra Ideal. [Consultado el 20 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://lacompraideal.cl/finanzas-personales/como-calcular-la-tasa-de-descuento/#:~:text=d%3B%202%20%C2%ABi%C2%BB%20se%20a%3C%A9s>
50. Tipo de interés en España | Statista. Statista. [Consultado el 20 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://es.statista.com/estadisticas/639398/tipo-de-interes-oficial-espana/>
51. España - Tasa de inflación | 1955-2024 Datos. [Consultado el 20 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://es.tradingeconomics.com/spain/inflation-cpi>
52. Prima de riesgo de España 2024 | Datosmacro.com. [Consultado el 20 de mayo de 2024]. Disponible en: [Prima de riesgo de España | Datosmacro.com \(expansion.com\)](https://datosmacro.com/expansion.com/)
53. Payback: [Definiciones, Fórmulas, Cálculo Y Ejemplos]. [Consultado el 21 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://www.autorizadored.es/finanzas/payback/#%C2%BFComo se calcula el payback>
54. Tasa interna de retorno (TIR): Qué es, fórmula y ejemplos | Economipedia. [Consultado el 21 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://economipedia.com/definiciones/tasa-interna-de-retorno-tir.html>
55. The Use of Magnetism in NDT/NDE. Center for Nondestructive Evaluation. [Consultado el 22 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://www.nde-ed.org/NDETechniques/MagParticle/magnetism/ndt.xhtml>
56. ISO. (2019). ISO 10025-2: Technical delivery conditions for non-alloy structural steels. International Organization for Standardization. [Consultado el 11 de junio de 2024]
57. Ensayo de Tracción. Ensayo, Gráfica, Fórmulas, Problemas | areatecnologia.com. [Consultado el 23 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://www.areatecnologia.com/materiales/ensayo-de-traccion.html>
58. Ensayo Macrográfico: el estudio del metal | SCI Control & Inspección (scisa.es). [Consultado el 23 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://scisa.es/ensayo-macrografico/>

ANEXOS

ANEXO I: INFRAESTRUCTURA DIGITAL DEL GRUPO ATLAS COPCO.

ANEXO I.I: POWER BI

Power BI es una herramienta que recoge los datos almacenados en el ERP y que crea visualizaciones interactivas con gráficas, tablas y mapas, lo cuál ayuda a la identificación de patrones en los datos. En la figura 64 podemos apreciar un resumen mensual de las incidencias que han ocurrido en el ERP, también se aprecian dos líneas de tendencia para ver la evolución de las variables a lo largo de los últimos meses.

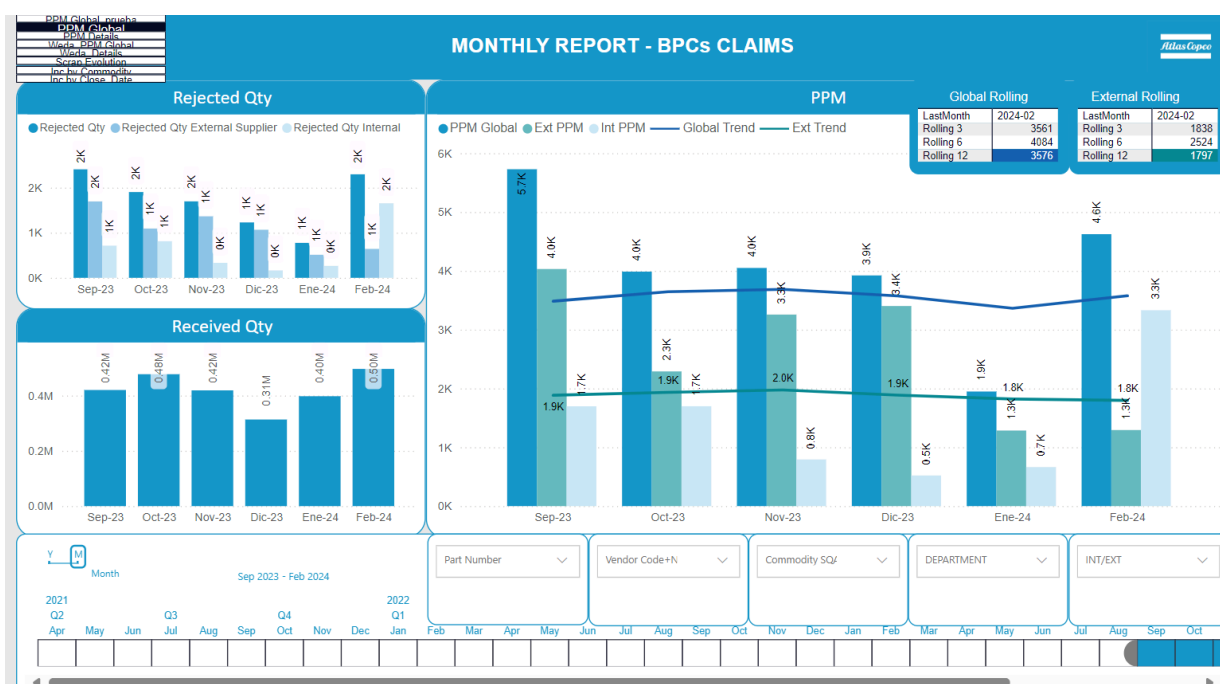


Figura 64. Ejemplo de gráfica del Power BI

Power BI también te permite realizar análisis sobre los datos, incluyendo cálculos, agregaciones y aplicaciones de filtros para explorar la información. Esto se ha utilizado durante el trabajo para filtrar las beams eliminando la clase CY la cual designa las que están obsoletas (Figura 65). Lo cuál se ha unido a la integración de Power BI de otras herramientas de Microsoft.

Esa integración quiere decir que existe una compenetración con programas como Excel, lo cuál quiere decir que las tablas de datos que aparecen en Power BI son exportables en su mismo formato. De esta manera se facilita la modificación y uso de esos datos.

Atlas Copco

Executed: 2024-04-29 08...

Buyers

P1NAMEIPURC

LETICIA ESTRADA E

LAURA BELTRE R

JUAN TENA P

CARLOS ROYO K

Vendor

99999: Item not linked to supplier

51357: TALLERES CHINESTRA, S.A.

51099: ANTARES SERV. PROM. IND. SLU

50573: UCEFER CERRAJEROS SL

50190: PEYMO PERALTA S.L.

10654: TECNOVEN, S.L.

10699: TOATAMIENTOS V

IClass

GA

EY

CY

CA

Currency

EUR

Reference

Search

Vendor name

Search

Consumption

All

Description

beam

MOTALT ALL PRICES

Ref	Vendor Ref	Description	Vendor code	Vendor name	Comment	IONOD	Cost	ICLAS	IMIN	ILOT
1636014330	B5+KD	LIFTING BEAM	10354	MARSU S.L.		0	39.33	EY	0.00	1.0
1604990702		BEAM	10354	MARSU S.L.		0	36.73	EY	0.00	1.0
1604990782		BEAM_BOX_D	10354	MARSU S.L.		0	36.58	EY	0.00	1.0
1604992002		BEAM_BOX_D	10354	MARSU S.L.		0	50.91	EY	0.00	1.0
1626084282		BEAM_BOX_C	10354	MARSU S.L.		0	53.44	EY	0.00	1.0
1626130501		LIFTING BEAM	10354	MARSU S.L.		0	290.17	EY	0.00	1.0
1626147107		BEAM	10354	MARSU S.L.		0	28.35	EY	0.00	1.0
1626147188		BEAM ASSY AAC AA	10354	MARSU S.L.		0	31.45	EY	0.00	1.0
1626147198		BEAM ASSY AC AA	10354	MARSU S.L.		0	29.48	CA	0.00	1.0

MOTALT

Ref	Vendor Ref	Description	Vendor code	Vendor name	ISCST	IONOD	ICLAS
1604990702		BEAM	10354	MARSU S.L.	37.15	0	EY
1604990782		BEAM_BOX_D	10354	MARSU S.L.	36.99	0	EY
1604992002		BEAM_BOX_D	10354	MARSU S.L.	51.49	0	EY
1626084282		BEAM_BOX_C	10354	MARSU S.L.	54.04	0	EY
1626130501		LIFTING BEAM	10354	MARSU S.L.	293.45	0	EY
1626147107		BEAM	10354	MARSU S.L.	28.67	0	EY
1626147188		BEAM ASSY AAC AA	10354	MARSU S.L.	31.81	0	EY
1626147198		BEAM ASSY AC AA	10354	MARSU S.L.	37.28	0	CA
1626147204		BEAM	10354	MARSU S.L.	27.25	0	EY

Figura 65. Datos de las Beams en Power BI

ANEXO I.II: BPCS

BPCS es el ERP de la empresa y consiste en un programa que contiene los códigos de todos los artículos que la empresa posee, desde los tornillos, pasando por grupos de piezas ensambladas nombradas “assy” hasta llegar a los grupos completos.

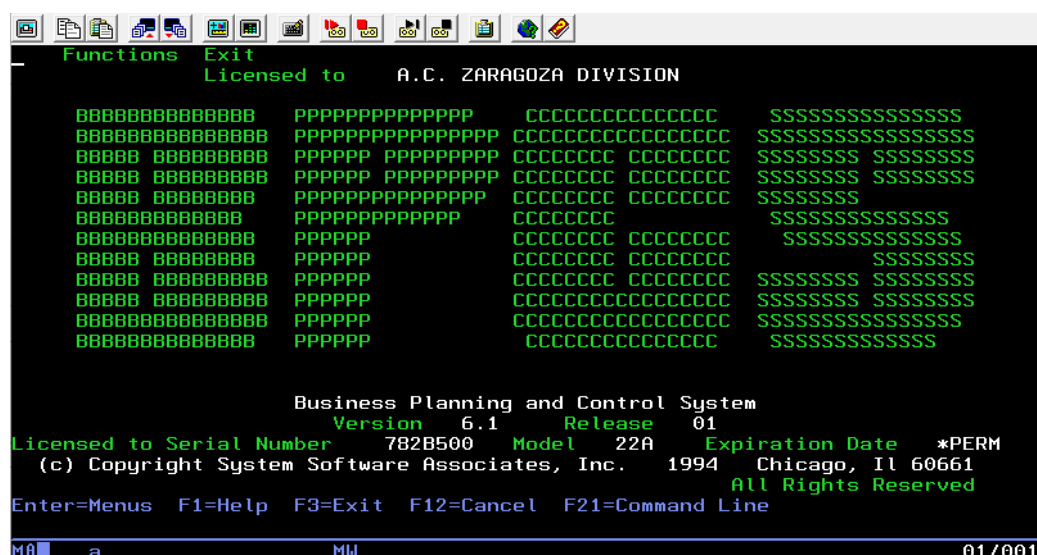


Figura 66. Pantalla de inicio del BPCS

En este programa se puede hacer uso de multitud de funciones, pero en este trabajo se van a utilizar 4 principalmente, las cuales son:

```

SYS500-05      A.C. ZARAGOZA DIVISION  6.1      QPAD5329  26/04/24
               List of Menus Authorized for User  ESFMSA  09:32:06

Enter Menu Name or Program Name
Select action and press Enter.  1=Select
  —      ACP      Accounts Payable Processing
  —      ACP80    Accounts Payable Special Menu
  —      BIL80    Billing
  —      BOM
  —      BOM70    Manufacturing Data Management
  —      BOM80    Manufacturing Data Management
  —      BOM81    Manufacturing Data Management
  —      BOM82    Manufacturing Data Management
  —      BPCS     BPCS Main Menu
  —      CYCL     Cycle Count
  —      CYC0     Cycle Count - New
  —      F0B      Features & Values
  —      INV      Inventory Management
  —      INV01    Inventory Reports and Inquiries
  —      INV71    Inventory Management
  —      INV80    Inventory Management

F1=Help  F3=Exit  F7=Bwd  F8=Fwd  F12=Cancel  F13=Functions  F21=Command Line

```

Figura 67. Pantalla con algunos menús de BPCS

- BOM 300: Se utiliza para ver los puntos de uso de una pieza, es decir, qué códigos incluyen esa pieza. Si el código fuera de, digamos un tornillo, te mostraría los códigos de los elementos en los que va usado ese tornillo.

Puedes elegir que te muestre una clasificación “single-level” o “multi-level”. Puedes elegir si quieres ver la jerarquía, clasificada en niveles, desde el tornillo hasta el grupo completo o si solo te interesa ver los objetos de orden directamente superior en los que va montado ese tornillo.

También podemos comprobar la clasificación del objeto, útil cuando se quiere analizar y desechar los productos obsoletos, ya que estos tienen una categoría propia (CY).

BOM300D3-01		A.C. ZARAGOZA DIVISION 6.1			QPAD5329	4/26/24
ATCOAICA		BILL OF MATERIALS			ESFMSA	09:49:53
Component 1636015267		Facility			Method	Effective
MANIFOLD						
Class CA On Hand		0,000	On Order	0,000	Allocated	0,000
Level	Parent	Fac	Description	U/M	Qty Required	Scrap
1	1636016004		FRAME ASSY	PC	1,000000	
.2	1636907609		FRAME / MOUNTS	PC	1,000000	1,0000
..3	1636907604		BASIC PARTS	PC	1,000000	1,0000
...4	8170022867		HILIGHT B5+ KD	PC	1,000000	1,0000
..3	1636908943		BASIC PARTS	PC	1,000000	1,0000
...4	8170023052		HILIGHT B5+ KD	PC	1,000000	1,0000
..3	1636912643		BASIC PARTS	PC	1,000000	1,0000
...4	8170023366		HILIGHT B5+ KD	PC	1,000000	1,0000
..3	8170023051		HILIGHT B5+ KD	PC	1,000000	1,0000
..3	8170023269		HILIGHT B5+ KD	PC	1,000000	1,0000
..3	8170023377		HILIGHT B5+ KD	PC	1,000000	1,0000
1	1636016004		FRAME ASSY	PC	1,000000	+

Figura 68. Opción multi-level del BOM 300, en BPCS

- INV 300: Se ha utilizado para averiguar los proveedores de cada una de las beams a ensayar, aunque también se puede encontrar el stock del producto y donde se encuentra ubicado.
- INV 71 - 8: La opción 8 de este menú nos permite localizar en planta un código concreto. A veces, el programa de modelos 3D no disponía del modelo que se buscaba, por lo que se debía buscar donde se encontraba y examinar in situ.

En la figura 69 se ha buscado el código 1636011297 y se puede ver que su localización es "H01".

INVI38-01

A.C. ZARAGOZA DIVISION

QPAD5329

26/04/24

Maintenance Item/Location File

ESFMSA

10:15:00

2=Edit

3=Copy

4=Delete

5=Display

8=Position

Dpt	WH	Item	Detloc	Description	LFLoc	Nr	KB	Locat.	Bin	Typ	Qty	Wght	UM	Wght	Gross
—	PR	1636011297	H01	LIFTING BEAM	H01	0	LAH	999	0	238,70	0				
—	PR	1636011298	A00000	CONTROLLER	A00000	0	LAA	999	0	0,98	0				
—	PR	1636011311	L480	BRACKET RADIA	L480	0	L04	260	15	0,00	1				
—	PR	1636011312	A00000	CONTROLLER DS	A00000	0	LAA	999	0	0,00	0				
—	PR	1636011367	B09B	SUPPORT	B09B	0	LAB	120	0	0,00	51				
—	PR	1636011381	L05CUB	CONTROL PANEL	L05CUB	0	L05	999	0	0,00	0				
—	PR	1636011388	L05CUB	CONTROL PANEL	L05CUB	0	L05	999	0	0,00	0				
—	PR	1636011405	B07Q	BRACKET	B07Q	0	LAB	110	10	0,00	43				
—	PR	1636011416	L0205A	LABEL	L0205A	2	L02	240	200	0,00	0				
—	PR	1636011418	A00000	AUX CONTACT N	A00000	0	LAA	999	0	0,00	0				
—	PR	1636011422	A00000	CIRCUIT BREAK	A00000	0	LAA	999	0	0,16	0				
—	PR	1636011424	A00000	CIRCUIT BREAK	A00000	0	LAA	260	50	0,00	1				
—	PR	1636011427	A00000	CIRCUIT BREAK	A00000	0	LAA	999	0	0,00	0				
—	PR	1636011430	A00000	CIRCUIT BREAK	A00000	0	LAA	260	50	0,00	+				

F1=Help

F3=Exit

F5=Refresh

F6=Add

Figura 69. Menú del INV 71-8, en BPCS

- PUR 300: Se utiliza para ver el precio exacto al que se compra un elemento. Este recurso se necesita en el apartado 6.1.3 donde estamos definiendo la inversión de la empresa en el proyecto.

ANEXO I.III: WINDCHILL

Es una plataforma que recopila los datos del ERP: los códigos, sus descripciones y sus estructuras. Como se puede ver en la figura 70, los códigos suelen tener 3 accesos diferentes al buscarlos en el programa.

Number	Name
1636011297	LIFTING BEAM
1636011297.IAM	LIFTING BEAM
1636011297.IDW	LIFTING BEAM

Figura 70. Búsqueda de un código en Windchill

Al acceder en el primer link, podemos encontrar una breve descripción con algunos detalles y varias pestañas que se pueden desplegar (ver Figura 71)

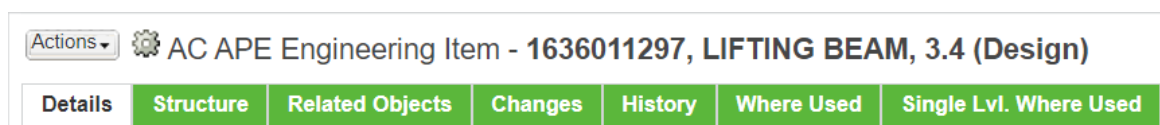


Figura 71. Pestañas accesibles del primer link

En el proyecto se ha utilizado: *Structure*, para saber las piezas subyacentes a ese código. *Details*, incluye algún material o condición especial de ese código y *Where Used*, el cual tiene una función similar al BOM 300 de BPCS.

El segundo de los accesos, se utiliza para visualizar los modelos 3D. Al hacer click te redirige a otro programa, el *Creo View*, el cual te permite ver las especificaciones del elemento, hacerle cortes a la pieza y observar los ensamblajes, aunque estos modelos no siempre están disponibles

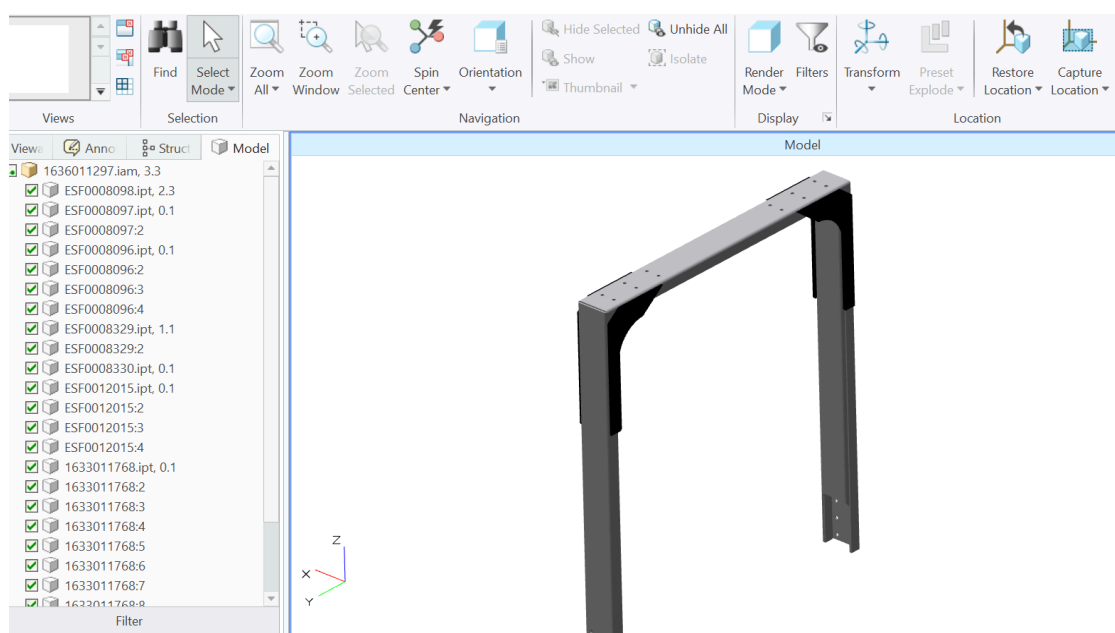


Figura 72. Interfaz del Creo View

El último link nos deja acceder a los planos de esa pieza, podemos descargarlos en pdf o si se prefiere al hacer click en la imagen (ver Figura 73) se abre otro acceso a Creo View con un visor del plano.

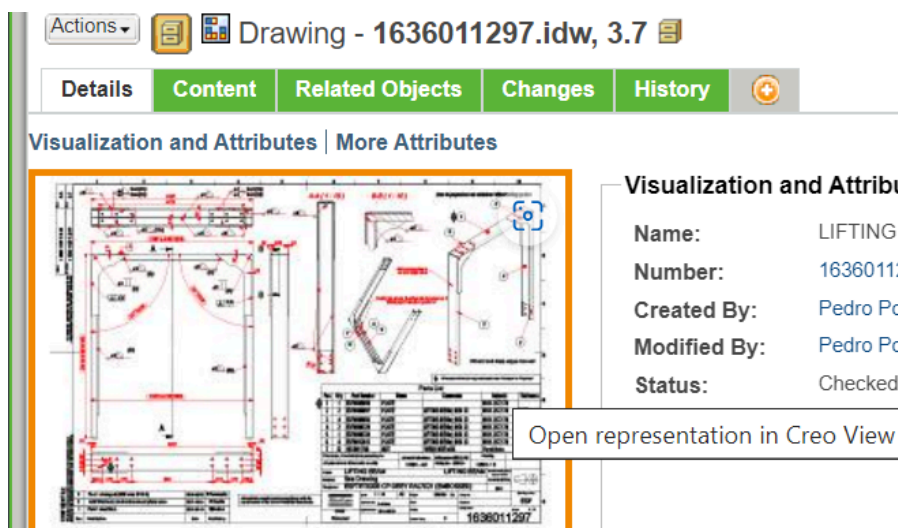


Figura 73. Pestaña de planos de Windchill

ANEXO I.IV: STANDARD DE ATLAS COPCO - INDEX

Este software se ha utilizado con dos motivos. El primero, consultar la normativa interna de Atlas, necesario para poder conocer los requisitos de calidad por los que se rige la empresa, las excepciones que establece y las exigencias extras que consideran necesarias.

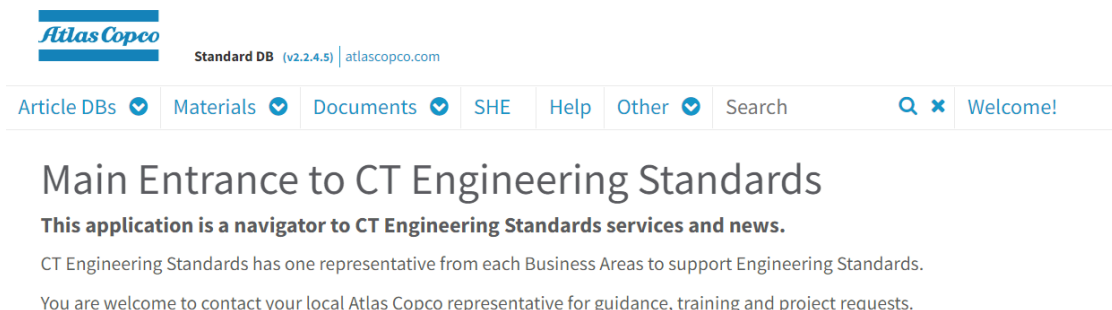


Figura 74. Menú principal del Atlas Standard

El segundo motivo, y lo que ha provocado un gran ahorro económico, es poder consultar la gran mayoría de normas ISO de forma gratuita. Atlas Copco tiene un convenio con NBN en el que esta empresa le permite acceder a sus normas y leerlas, aunque no se pueden ni descargar ni distribuir.

Este derecho ha permitido no tener que pagar por cada una de las normas sobre las que se investiga en este estudio. A pesar de ello, como lo que se paga por este convenio es confidencial,

se tendrá en cuenta lo que valen las normas para el análisis económico. Como se puede ver en la figura 75 aparece un link en varios idiomas, junto con el precio de la norma por si se desea adquirir.

Standard Reference

Year of publication

Free text

Publisher

With this search, your search will be executed in all catalogs and collections available to you. **Attention!** Due to the large data set being searched, it may take a while for this search to be completed.

☒ **NBN Standards**
(e.g. NBN xxxx, NBN EN (ISO) xxxx)

☒ **Electrotechnical standards**
(e.g. NBN (EN) 60xxx(IEC text included))

☒ **ASTM Standards**
(e.g. DXXXX-YY(edition), FXXXX-YY(edition), ...)

☐ **Include redrawn and replaced versions**

NBN Catalog ?

Displaying 1-1 of 1 result(s).

☐	Standard number ▲	Year of edition ▼	Title	Price	Availability
	NBN EN ISO 5817	2023	Welding - Fusion-welded joints in steel, nickel, titanium and their alloys (beam welding excluded) - Quality levels for imperfections (ISO 5817:2023)	★ € 121	EN FR NL DE

Figura 75. Menú de NBN dentro de Atlas Copco Standard

ANEXO II: NORMATIVA INTERNA DE ATLAS

ANEXO II.I: EQUIVALENCIA DESIGNACIÓN ATLAS - ESPAÑOLA PARA ACEROS

AC NUMBER	DESIGNATION
* 0011 9047 14	DX51D+Z140-N-A GALVANIZED STEEL METAL SHEET EN 10142 THICKNESS 1-1,5-2mm
* 0011 9047 90	DX51D+275-N-A GALVANIZED STEEL METAL SHEET EN 10142 THICKNESS 2.5-3mm
0011 9049 90	DC01+ZE 25/25 P ELECTROLYTICALLY ZINC COATED STEEL METAL SHEET. COLD ROLLED EN 10152
0011 9054 95	DX52D+AS120 ALUMINIZED STEEL METAL SHEET. EN 10154
* 0011 1142 32	DC01 STEEL METAL SHEET. COLD ROLLED. SKIN PASSED EN 10130 THICKNESS ≤ 1.5mm
* 0011 9021 00	DD11 STEEL METAL SHEET LOW CARBON. HOT ROLLED. EN 10111 THICKNESS > 2mm
0011 1312 00	S235 JR STRUCTURAL STEEL. NON ALLOYED. SHEETS, BARS EN 10025-2
* 0011 1412 00	S275 JR STRUCTURAL STEEL. SHEETS, BARS EN 10025-2
* 0011 2172 00	S355 JR 3+ EN 10025-2
0011 1312 93	S235 J2 STRUCTURAL STEEL. NON ALLOYED. SHEETS, BARS EN 10025-2 HIGH TENSILE STRENGTH
* 0011 2174 01	S355 J2 +N (S355 J2 G3) STRUCTURAL STEEL. SHEETS, BARS EN 10025-2 HIGH TENSILE STRENGTH.NORMALIZED
0011 9020 70	DOMEX 700 HIGH YIELD STRENGTH STEEL. SHEETS EN 10149-2
* 0011 2333 02	AISI 304 AUSTENITIC STAINLESS STEEL. SHEETS, BARS, TUBES EN 10088-2
* 0011 9170 91	E195 COLD WELDED TUBE. AS ROLLED EN 10305-3
0011 1412 04	S275H SEAMLESS STEEL TUBE. AS ROLLED EN 10210 STRUCTURAL. NON ALLOYED
0011 1330 05	ST35 SEAMLESS STEEL TUBE. COLD ROLLED EN 10216-2 (DIN 1629)
0011 9031 94	ST37 SEAMLESS STEEL TUBE. PRESSED VESSELS EN 10216-1 (DIN 1529)
0011 1412 91	E235 SEAMLESS STEEL TUBE EN 10297-1 STRUCTURAL
0011 1350 06	C15 GENERAL ENGINEERING STEEL. BARS, PROFILES EN 10084
0011 1550 01	C35 GENERAL ENGINEERING STEEL. BARS, PROFILES, TUBES EN 10083 NORMALIZED
0011 1650 01	C45 GENERAL ENGINEERING STEEL. BARS, PROFILES, TUBES EN 10083 NORMALIZED
0011 4007 18	ALUMINIUM Al 99.5 EN-AW 1050A-H18 EN 485-2 HIGH YIELD STRENGTH
* 0011 9327 75	EN AW-5754 O/H111 ALUMINIUM Al Mg3 O/H111. SHEETS, STRIPS, PLATES EN 485-2
* 0011 9113 10	EN AW-6060 - T4 ALUMINIUM AlMgSi . BARS, TUBES, PROFILES EN 755-2
* 0011 5010 02	Cu-ETP ANNEALED COPPER. BARS EN 1652
* 0013 2952 98	POLYCARBONATE (PC) THICKNESS 5mm
* 0019 1702 91	PU FOAM+FILM. ADHESIVE. DENS. 26 Kg/m3 THICKNESS 15/30/50mm
* 0019 1700 90	ROCKWOOL. DENS. 55 Kg/m3+MESH TRAY THICKNESS 50mm. SHEET DIM 1200x2000
* 0013 3932 90	NITRILE RUBBER (NBR) 60 °IRH THICKNESS 3mm
* 0013 3971 90	FLUOROCARBON RUBBER (FPM) 70° IRH THICKNESS 3mm
* 0019 1715 01	ADHESIVE VINYL WHITE. MARKS AND LABELS THICKNESS 0,08-1mm.

ANEXO II.II: NORMA DE PINTURA ESFTRT0001 - ATLAS COPCO

Name: AC Yellow		Date	2019/01/25
Detail		Print date	
		Secr. Class	1102 K/ 2-Controlled distribution only (default)
Project title		Project nr	
	Written by Daniel Navarro	Owner	ESF
Edition 01	Compare 9822 0976 59	<u>Designation</u> ESFTRT0001	
Status Approved	Replaces		
		<u>Sheet 1(3)</u>	

Layers description:

Powder Coating:	Color definition:	AXALTA, Alesta IP IE 70001123927 AC 01 Yellow A – Acc. To AC STD 6751 K, color requirement AC STD 6752:01 K
	Paint type:	polyester, powder
Liquid Coating:	Color definition:	AXALTA, Alesta IP IE 70001123927 AC 01 Yellow A – Acc. To AC STD 6751 K, color requirement AC STD 6752:01 K
	Paint type:	polyester, liquid

Layer thickness:

Powder Coating:	70-100µm, measured on min 10 spots (acc. To EN ISO 2178)
Liquid Coating:	70-100µm, measured on min 10 spots (acc. To EN ISO 2178)
Maximum Limit Thickness:	300µm, (acc. To EN ISO 19840)
Important Note:	In cases of rough surfaces due to mechanical pre-treatment To meet the specified gloss, higher thickness is accepted but never above the maximum limit.

Final finish:

- Gloss - Gardner 60°	: 60+/-5 %
- Hardness Persoz (Pendell 12-6°)	: min 250s
- Adhesion (DIN en ISO 2409)	: Gt 0 - 1
- Conical spine (ISO 6860)	: bursts at max 30mm
- Impact direct (ISO 6272)	: 25kg.cm

Resistance against:

Corrosion:

Measure up to ISO 12944-2	Atmospheric-corrosivity category (See table by materials)
Measure up to ISO 12944-5	with durability of Medium (M)
Measure up to ISO 8501-3	with preparation grades P2

Usual control testing:

- salt spray (ISO4628-8 /5.2.1) (ASTM B 117 - 85)
- Kesternich test (DIN 50018 SFW2.OS): After minimum 7 cycles
Adhesion Gt 0-1
No rust in plate
- Assessment method of degradation ISO 4628:

ISO 4628-2	Blistering 0(S0) (assessment immediately)
ISO 4628-3	Rusting Ri 0 (assessment immediately)
ISO 4628-4	Cracking 0 (S0) (assessment immediately)
ISO 4628-5	Flaking 0 (S0) (assessment immediately)
- Complementary assessment methods cross-cut test ISO 2409:
For dry-film thickness <250µm, classification 0 or 1

Delivery status:

- Rust : not allowed
- Blisters : not allowed
- infiltration in edges not allowed
- Max Change of color: $\Delta E=1.25; \Delta L=0.5; \Delta a=0.8; \Delta b=0.8$
- Filiform corrosion: 24 h salt spray, afterwards 1 week in climate room at 24°C and 85% relative humidity;
no under creep

Chemical:

- Loss of gloss: $\Delta G = \max 10\%$
- Max change of colour (Permitted Deviation):
 $\Delta E=1.25; \Delta L=0.5; \Delta a=0.8; \Delta b=0.8$ (See AC STD 6752:01 K)
- Adhesion: unchanged
- Hardness Persoz : unchanged
- Resistant assured for products:
 - Paroil M
 - Paroil S
 - 15W40
 - 5W30
 - Parcool
 - Diesel

Outdoor exposition:

After 1 year at ESF

- Infiltration in edges: 0
- Infiltration of the cross : 0, no under creep allowed
- Rust: not allowed
- Loss of gloss: $\Delta G = \max 10\%$
- Max change of colour (Permitted Deviation):
 $\Delta E=1.25; \Delta L=0.5; \Delta a=0.8; \Delta b=0.8$ (See AC STD 6752:01 K)

ANEXO III: OTROS ASPECTOS EN RELACIÓN A LA CALIDAD.

ANEXO III.I: EN EL SECTOR

2.1.4 TRATAMIENTOS SUPERFICIALES

Como se menciona en el apartado 2.1.1, la corrosión es una reacción espontánea en los aceros y debido a ello, los aceros se someten a tratamientos para que mejoren algunas propiedades como la resistencia a la oxidación o la resistencia a tracción [21]. Actualmente, se están usando los siguientes tratamientos: [18] galvanizado, zincado, cromado, niquelado, anodizado y pintura.

Tanto el galvanizado como el zincado proveen una capa de Zinc sobre el acero pero se diferencian en varios aspectos [19]. El recubrimiento del zincado es más delgado en comparación y es más económico que el galvanizado, aunque éste es más duradero y resistente a la corrosión. El zincado se hace por medio de un proceso electrolítico mientras que el galvanizado requiere la inmersión de las aleaciones en zinc fundido a altas temperaturas. [20]

El cromado, niquelado y anodizado siguen la misma dinámica que el galvanizado pero los materiales que usan para recubrir son cromo, níquel y aluminio. El cromado es el más caro pero también ofrece mayor resistencia a la corrosión a largo plazo. Por otro lado, el niquelado mejora la soldabilidad y la conductividad eléctrica del acero, mientras que el anodizado es el menos usado, siendo más común en aleaciones de aluminio, pero a su vez siendo ligeramente más económico que el resto.

Como se puede ver, el tratamiento a utilizar depende en lo **económico** y la **aplicación** que vaya a tener ese acero tras el tratamiento.

2.1.5 COEFICIENTES DE SEGURIDAD

Existe un **coeficiente de seguridad mínimo legal** cuyo valor varía en función de la aplicación que tenga el sistema de elevación [23]. Por ejemplo, en ascensores, las eslingas^(7.) tienen que soportar esfuerzos que el acuerdo RD 1215/97 considera como excepcionales [22] e impone como condición un coeficiente mínimo de 8.

$$C_s = \frac{\sigma}{2\tau_{m\acute{a}x}}$$

Figura 76. Ecuación del coeficiente de seguridad [14]

Otros elementos del conjunto de elevación como son los cáncamos^(8.), han de tener un coeficiente de utilización de 5. [22]

Por último, los elementos estructurales que soportan esfuerzos, y que suelen formar un pórtico, tienen su propia normativa y está relacionada al material del que están fabricados que en la mayor parte de las veces es acero. La normativa que recoge los coeficientes de seguridad es el CTE^(9.).

Esta normativa tiene dedica una parte de sus documentos básicos a la seguridad estructural, y entre ellos uno dedicado al acero (DB-SE-A) [26]. En este documento se citan los coeficientes parciales de seguridad que se deben tener en cuenta para determinar la resistencia, los cuales varían en función de la aplicación que se quiere calcular.

- $\gamma_{M0} = 1,05$ valor relativo a la plastificación del material, ELS.^(10.)
- $\gamma_{M1} = 1,05$ valor relativo a los fenómenos de inestabilidad.
- $\gamma_{M2} = 1,25$ valor relativo a la resistencia última del material, ELU.^(11.)

ANEXO III.II: EN LA EMPRESA

2.2.4 TRATAMIENTOS SUPERFICIALES; PINTURA

Atlas Copco tiene un criterio de lo que considera necesario respecto a los tratamientos de resistencia a la corrosión de cada elemento. Se basa en una elección consecutiva de procesos según el requisito que requiera la pieza acorde a la norma ISO 12944. El proceso de elección viene resumido en la siguiente tabla (ver Figura 77). La cuál se va a analizar por completo.

Solo nos fijaremos en las columnas: “External Parts: QAS-QES, Base Frame, Bodywork T>3” y la siguiente “Internal Parts: Lifting Frame, Supports, Beams,etc”. La primera columna mencionada es para las beams que están en contacto directo con el ambiente, a partir de ahora exteriores, y la segunda es para las que se encuentran dentro de un capó, a partir de ahora interiores.

Material	Cold Galvanised Metal sheet (T ≤ 3mm)		Carbon Steel Metal Sheet								C5M Carbon Steel Metal Sheet		Carbon Steel Metal Sheet
Uses	External Parts: Bodywork		External Parts: QAS-QES Baseframe, Bodywork T ≥ 3mm	Internal Parts: Lifting Frame, Supports, Beams, etc	External Parts: QIS Baseframe	Baseframe CH-Cl	Special projects Baseframe	Container Structure and Bodywork: External Doors, Baffles and Panels	External Parts: Baseframe, Bodywork	Bodywork			External Parts
Coating Process	Powder	Liquid	Powder		Liquid		Liquid	Liquid	Powder	Powder			Hot Dip Galv. Fe/Zn
Salt Spray Minimum Hours	480		720	240		720		1440		1440			720
Protection	C4M		C5M-M		C3M		C5M-M		C5M-H		C5M-H		C5M-M
Nitrogen Metal Sheet Cutting	X	-	X	-	X	-	-	-	-	X	X		-
External Edges Dressing Off	-	-	X	-	-	-	-	-	-	X	-		X
PREPARATION	Shot Blasting	-	-	-	-	-	X	X	-	X	-		-
	Warm Alkaline Degreasing	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X
	Phosphatation	X	-	X	X	X	-	-	-	X	X		X
	Rinsing	X	-	X	X	X	-	-	-	X	X		X
	Cr Passivation	X	-	X	X	X	-	-	-	X	X		X
	Oven Drying	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X
PRIMER	Zero Zinc Epoxi Primer	-	-	X	-	-	-	-	-	X	X		-
	Zinc-Rich Epoxi Primer	-	X	-	-	-	X	X	X	-	-		X
	Polyamide Epoxi Primer	-	-	-	-	-	X	X	-	-	-		-
COLOR	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		-

Figura 77. Elección de tratamientos superficiales para cada tipo de elemento

Como podemos ver en la primera fila, todos los modelos de pértigas tienen que ser producidos con el mismo material “**Carbon Steel Metal Sheet**” que hace referencia a un acero decapado.

El campo “coating process” explicita la técnica de **pintura** a utilizar (líquido o polvo). Esto suele depender del tamaño de las piezas, ya que las grandes no caben en las cabinas a polvo. La pintura con líquido es más rápida pero el acabado es peor que. Para las beams solo se acepta que se pinten a polvo.

Además, Atlas Copco tiene unas normas internas de pintura definidas en la plataforma Sharepoint. En ellas, se define la manera de generar el tono exacto del color, el grosor de la capa de pintura y su resistencia contra la corrosión y otros agentes externos. En el Anexo II.II se adjunta el prototipo de norma para el color característico de la empresa, una tonalidad de amarillo designada **ESFTRT0001**.

El siguiente campo, “**Salt Spray Minimum Hours**”, hace referencia al número de horas que debe aguantar el elemento en una cámara de niebla salina. En esta cámara el ambiente es muy agresivo y se acelera el proceso de **corrosión**. El campo “Protection” y éste se encuentran relacionados y se determinan en el mismo proceso mediante la tabla de la Figura 78:

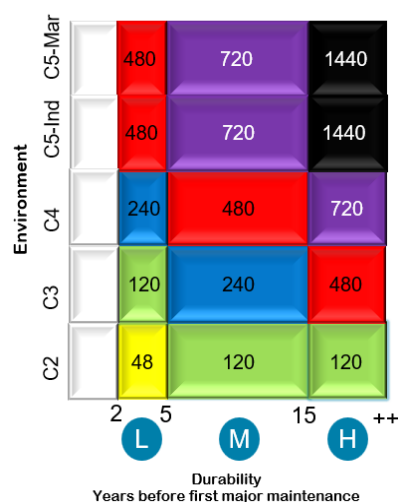


Figura 78. Tabla acorde a la norma ISO 12944-6

En el eje de ordenadas de la figura 78 tenemos una clasificación del ambiente por **categorías de corrosión**. Esta clasificación proviene de otra tabla basada en la norma ISO 9223 en la que se analiza la pérdida de masa por unidad de superficie y la pérdida de grosor para varios tipos de materiales de superficie. Además, se pone un ejemplo de cada tipo de ambiente.

Corrosivity category	Mass loss per unit surface/thickness loss (after first year of exposure)				Examples of typical environments in a temperate climate (informative only)	
	Low-carbon steel		Zinc		Exterior	Interior
	Mass loss g/m ²	Thickness loss µm	Mass loss g/m ²	Thickness loss µm		
C1 very low	≤ 10	≤ 1,3	≤ 0,7	≤ 0,1	—	Heated buildings with clean atmospheres, e.g. offices, shops, schools, hotels.
C2 low	> 10 to 200	> 1,3 to 25	> 0,7 to 5	> 0,1 to 0,7	Atmospheres with low level of pollution. Mostly rural areas.	Unheated buildings where condensation may occur, e.g. depots, sports halls.
C3 medium	> 200 to 400	> 25 to 50	> 5 to 15	> 0,7 to 2,1	Urban and industrial atmospheres, moderate sulfur dioxide pollution. Coastal areas with low salinity.	Production rooms with high humidity and some air pollution, e.g. food-processing plants, laundries, breweries, dairies.
C4 high	> 400 to 650	> 50 to 80	> 15 to 30	> 2,1 to 4,2	Industrial areas and coastal areas with moderate salinity.	Chemical plants, swimming pools, coastal ship- and boatyards.
C5-I very high (industrial)	> 650 to 1 500	> 80 to 200	> 30 to 60	> 4,2 to 8,4	Industrial areas with high humidity and aggressive atmosphere.	Buildings or areas with almost permanent condensation and with high pollution.
C5-M very high (marine)	> 650 to 1 500	> 80 to 200	> 30 to 60	> 4,2 to 8,4	Coastal and offshore areas with high salinity.	Buildings or areas with almost permanent condensation and with high pollution.

Figura 79. Categorías de corrosión atmosférica y ejemplos de ambientes típicos

El eje de abscisas de la figura 78 hace referencia a los años de durabilidad del elemento antes del primer mantenimiento. Se puede clasificar en Low, Medium y High. Al elegir en qué ambiente nos encontramos y la durabilidad que requerimos, completamos el campo de protección, que en el caso de las beam exteriores es de **C3M** y en el de las interiores de **C5M-M** y a la vez, las **horas** requeridas en cámara salina, que son **240** en el caso de las exteriores y **720** en el de las interiores.

El ensayo en cámara salina se basa en las normas ISO 4628 e ISO 12944-6. Estas citan que los defectos ocurridos a 1 centímetro de los bordes no han de ser tenidos en cuenta pero tras

comprobar que la oxidación siempre comienza a salir en los bordes Atlas ha decidido tampoco permitir corrosión en los bordes ni sus proximidades para ensayos de 240h.

El último proceso previo antes de pintar es la imprimación. El imprimado consiste en una capa de pintura transparente que posee propiedades anticorrosivas, posee una gran adherencia y sella la superficie cerrando poros proporcionando un mejor acabado al elemento. También se encarga de uniformar los tonos del acero aclarando el color del acero decapado.

2.2.5 COEFICIENTES DE SEGURIDAD

Cuando se acaba un diseño, para probar las tensiones y deformaciones del elemento, se hace un estudio de elementos finitos mediante un software llamado Ansys en la sucursal en la India.

En este estudio simulan varios casos de fuerza en el eje Z con la pértiga en varias posiciones (inclinada, horizontal, vertical). El primer caso de fuerza a aplicar es de 1,5*g, el segundo de 2*g y el tercero de 4*g.

Cuando lo finalizan, envían un informe a Zaragoza con las condiciones de contorno, los resultados e interpretación de resultados para cada caso, alguna observación y las conclusiones finales. En la figura 80 se ilustra una ZBP experimentando una fuerza de 1,5g inclinada y en la tabla siguiente, los resultados tras todos los casos.

LC III(B): 1.5g Inclined Lifting in (-Z) dir. – in Longitudinal dir. (-15°) – von-Mises Stress [MPa]

Contour Plot
Direct Nonlinear Stress(equivalent, Max, CornerData)
Simple Average

Filename - 2022-PFL-ESF-0076-2G_Portable_Lifting_Long_-15_1.5g_ed00_rev01.op2

SUBCASE 2 = PORTABLE_LIFTING_LONG_-15_1.5G :PORTABLE_LIFTING_LONG_-15_1.5G

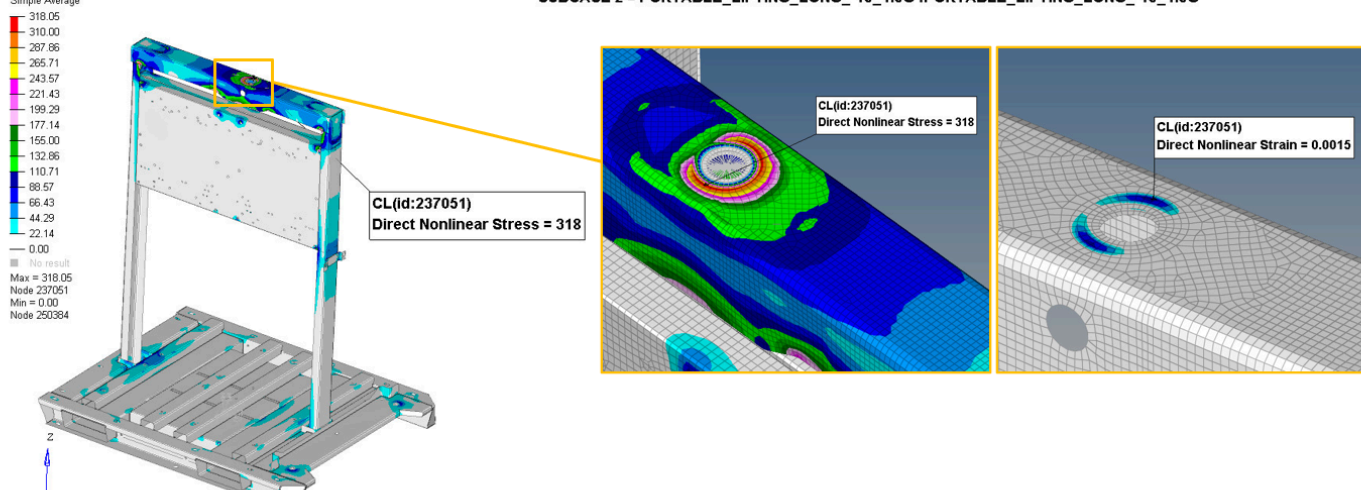


Figura 80. Tensión de Von Mises para pértiga de una ZBP a 1,5g

Load Case	Description	Component	Stress [MPa]		Strain [%]		Deformations [mm]
			Allowable	Accountable	Allowable	Accountable	
LC I	2.0g Lifting	Lifting Beam (Horizontal)	310	333	0.5	0.4	3.6
		Lifting Beam (Vertical)	235	240		0.16	
		Frame	235	160		-	
LC II (b)	4.0g Lifting	Lifting Beam (Horizontal)	470	418	-	-	-
		Lifting Beam (Vertical)	340	271		-	
		Frame	340	237		-	
LC III (b)	1.5g Inclined Lifting -15° – Longitudinally	Lifting Beam (Horizontal)	310	318	0.5	0.15	4.3
		Lifting Beam (Vertical)	235	237		0.05	
		Frame	235	200		-	
LC III (c)	1.5g Inclined Lifting +15° – (Transversely)	Lifting Beam (Horizontal)	310	317		0.13	4.67
		Lifting Beam (Vertical)	235	236		0.03	
		Frame	235	206		-	
LC IV	2.0g Fork Lifting	Frame	235	111		-	0.85

Tabla 14. Análisis de resultados para todos los casos del estudio de MEF

Si el coeficiente de seguridad obtenido es menor a 2, se decide modificar el diseño y rehacer el estudio y si ronda el 2,5 se decide hacerle un ensayo experimental para comprobar el margen de error respecto a los cálculos realizados.

Actualmente existe una norma legal específica para grupos electrógenos, la ISO 8528-13. En ella se detalla que para grupos electrógenos el coeficiente de seguridad debe ser 1,5 veces la masa de la máquina. Sin embargo, Atlas Copco tiene una norma interna un poco más exigente como se muestra en la figura 81.

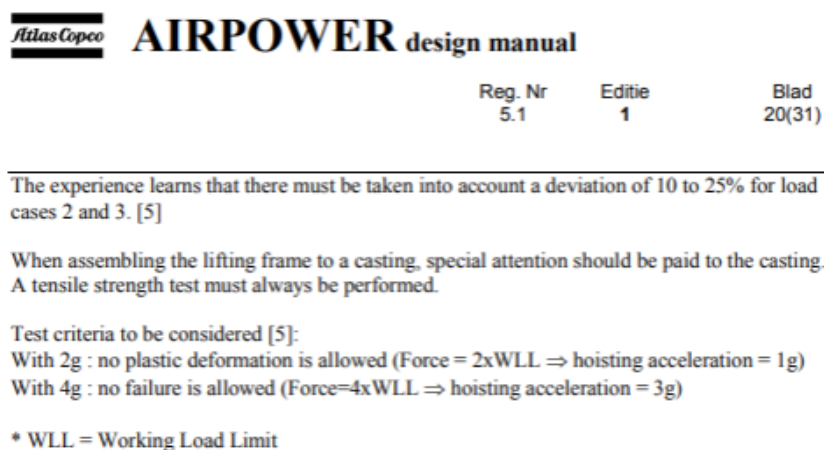
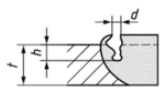
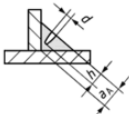
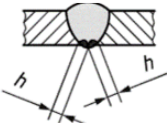
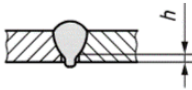
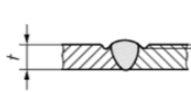
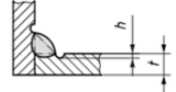
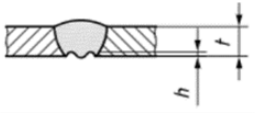
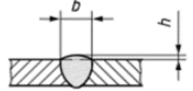
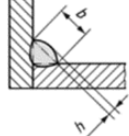
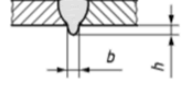
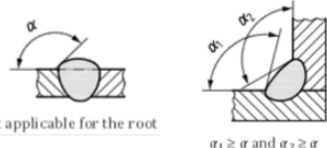
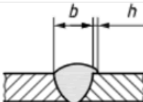
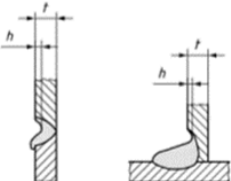
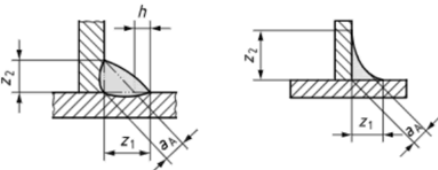
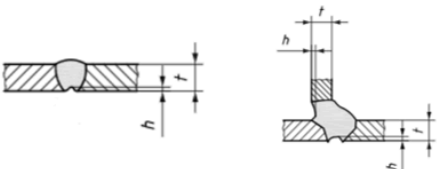
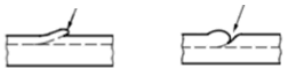
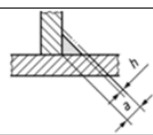
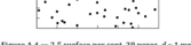
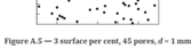
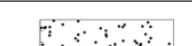
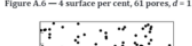
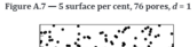
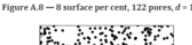


Figura 81. Extracto de la norma interna MTB-GVL

Esta norma define un criterio para la tensión y requiere que los modelos que se prueben cumplan al menos uno de ellos. Atlas Copco no permite deformaciones plásticas al experimentar fuerzas de 2g y no aprueba rotura para fuerzas de 4g.

ANEXO IV: TABLA DEFECTOS DE SOLDADURA Y END

Defecto	Criterio	Imagen	END
Superficial imperfections			
Crack	Not permitted	-	→ Si penetración total / butt welds: VT + MT VT + PT → Si penetración parcial/ fillet welds: O definir métodos de ensayo especiales o asegurarse mediante el proceso de soldado
End Crater pipe	→ Si la chapa es $0,5 \leq t \leq 3$: butt welds: $h \leq 0,2 \cdot s$ y $d \leq 0,3 \cdot s$ fillet welds: $h \leq 0,2 \cdot a$ y $d \leq 0,3 \cdot a$ → Si la chapa es $t > 3$: Igual pero: butt welds: 3 mm máx fillet welds: 2 mm máx	— butt welds  — fillet welds 	→ Si penetración total / butt welds: VT + MT VT + PT → Si penetración parcial/ fillet welds: O definir métodos de ensayo especiales o asegurarse mediante el proceso de soldado
Lack of fusion	Not permitted, same for micro lack of fusion (detected by microexamination x50)	 	→ Si penetración total / butt welds: VT + MT VT + PT → Si penetración parcial/ fillet welds: O definir métodos de ensayo especiales o asegurarse mediante el proceso de soldado
Undercut	It is required a smooth transition; it is not regarded as a systematic imperfection. → $0,5 \leq t \leq 3$: $h \leq 0,2 \cdot t$ → $t > 3$: $h \leq 0,2 \cdot t$ (1 mm max)	 	→ Si penetración total / butt welds: VT + MT VT + PT → Si penetración parcial/ fillet welds: O definir métodos de ensayo especiales o asegurarse mediante el proceso de soldado
Shrinkage grooves	Contracción del metal fundido al solidificar. Estos surcos suelen aparecer en la superficie del metal base adyacente a la soldadura. → $0,5 \leq t \leq 3$: $h \leq 0,1 \cdot t + 0,2$ [mm] → $t > 3$: $h \leq 0,2 \cdot t$ (2 mm max)		VT + MT VT + PT
Excess Weld metal (butt weld)	$h \leq 0,25 \cdot b + 1$ [mm] (10 mm max)		VT + MT VT + PT
Excessive convexity (fillet weld)	$h \leq 0,25 \cdot b + 1$ [mm] (5 mm max)		O definir métodos de ensayo especiales o asegurarse mediante el proceso de soldado
Excessive penetration	→ $0,5 \leq t \leq 3$: $h \leq 0,6 \cdot b + 1$ [mm] → $t > 3$: $h \leq 1 \cdot b + 1$ [mm] (5 mm max)		VT + MT VT + PT
Incorrect weld toe	El contorno exterior de la soldadura no sigue el perfil adecuado. Se requiere que el ángulo $\alpha \geq 90^\circ$ para ser aceptado.	Not applicable for the root  $\alpha_1 \geq \alpha$ and $\alpha_2 \geq \alpha$	→ Si penetración total / butt welds: VT + MT VT + PT → Si penetración parcial/ fillet welds: O definir métodos de ensayo especiales o asegurarse mediante el proceso de soldado
Overlap	$h \leq 0,2 \cdot b$		VT + MT VT + PT

Sagging	Esta deformación se produce cuando el metal base se calienta y se expande durante la soldadura, y luego se enfría y contrae, y la pieza se dobla o deforma. Se requiere una transición suave. → $0,5 \leq t \leq 3$: $h \leq 0,25 \cdot t$ → $t > 3$: $h \leq 0,25 \cdot t$ (2 mm max)		→ Si penetración total / butt welds: VT + MT VT + PT → Si penetración parcial/ fillet welds: O definir métodos de ensayo especiales o asegurarse mediante el proceso de soldo
Burn through	Ocorre cuando el metal base se funde completamente durante el proceso de soldadura, creando un agujero o perforación en la pieza de trabajo. Not permitted	-	→ Si penetración total / butt welds: VT + MT VT + PT → Si penetración parcial/ fillet welds: O definir métodos de ensayo especiales o asegurarse mediante el proceso de soldo
Excessive asymmetry of fillet weld	$h \leq 0,2 \cdot a + 2$ [mm] // $h = Z_2 - Z_1 $		O definir métodos de ensayo especiales o asegurarse mediante el proceso de soldo
Root concavity	Se requiere transición suave. → $0,5 \leq t \leq 3$: $h \leq 0,1 \cdot t + 0,2$ [mm] → $t > 3$: $h \leq 0,2 \cdot t$ (2 mm max)		→ Si penetración total / butt welds: VT + MT VT + PT → Si penetración parcial/ fillet welds: O definir métodos de ensayo especiales o asegurarse mediante el proceso de soldo
Poor restart	Permitted. The limit depends on the type of imperfection which occurred due to the restart		VT + MT VT + PT
Root porosity	Presencia de pequeñas cavidades o poros en la raíz de la soldadura. Acceptance depends on application, material, corrosion protection	-	VT + MT VT + PT
Insufficient throat thickness	Not applicable to processes with proof of greater depth of penetration. → $0,5 \leq t \leq 3$: $h \leq 0,1 \cdot a + 0,2$ [mm] → $t > 3$: $h \leq 0,1 \cdot a + 0,3$ [mm] (2 mm max)		O definir métodos de ensayo especiales o asegurarse mediante el proceso de soldo
Spatter	Acceptance depends on application, e.g material, corrosion protection	-	VT
Internal imperfections			
Cracks	Not permitted	-	→ Si butt welds: RT o UT (preferible RT) → Si fillet welds: $t \leq 8$: RT o UT (ambas tienen limitaciones) $8 < t \leq 40$: RT o UT (preferible UT)
Microcracks	if only visible under the microscope, permitted	-	→ Si butt welds: RT o UT (preferible RT) → Si fillet welds: $t \leq 8$: RT o UT (ambas tienen limitaciones) $8 < t \leq 40$: RT o UT (preferible UT)
Gas pore and uniformly distributed porosity	following conditions must be fulfilled. (ANEXO) → La dimensión máxima del área de las imperfecciones relacionada al área proyectada: For single layer: $\leq 2,5\%$ For multilayer: $\leq 5\%$ → Max dimension for a single pore. Butt welds: $d \leq 0,4 \cdot s$ (5 mm max) Fillet welds: $d \leq 0,4 \cdot a$ (5 mm max)	 Figure A.1 — 1 surface per cent, 15 pores, $d = 1$ mm  Figure A.2 — 1,5 surface per cent, 23 pores, $d = 1$ mm  Figure A.3 — 2 surface per cent, 30 pores, $d = 1$ mm  Figure A.4 — 2,5 surface per cent, 38 pores, $d = 1$ mm  Figure A.5 — 3 surface per cent, 45 pores, $d = 1$ mm  Figure A.6 — 4 surface per cent, 61 pores, $d = 1$ mm  Figure A.7 — 5 surface per cent, 76 pores, $d = 1$ mm  Figure A.8 — 8 surface per cent, 122 pores, $d = 1$ mm  Figure A.9 — 16 surface per cent, 244 pores, $d = 1$ mm	→ Si butt welds: RT o UT (preferible RT) → Si fillet welds: $t \leq 8$: RT o UT (ambas tienen limitaciones) $8 < t \leq 40$: RT o UT (preferible UT)

Linear porosity	→ Butt welds: $h \leq 0,4*s$ (4mm max) $l \leq s$ (75 mm max) → Fillet welds: $h \leq 0,4*a$ (4mm max) $l \leq a$ (75 mm max) Reference length for l_p is 100 mm. For case 1: $d_1 = h$ For case 2: $d_1 + d_2 + D = h$		→ Si butt welds: RT o UT (preferible RT) → Si fillet welds: $t \leq 8$: RT o UT (ambas tienen limitaciones) $8 < t \leq 40$: RT o UT (preferible UT)
Elongated cavity worm hole	→ Butt welds: $h \leq 0,4*s$ (4mm max) $l \leq s$ (75 mm max) → Fillet welds: $h \leq 0,4*a$ (4mm max) $l \leq a$ (75 mm max)	-	→ Si butt welds: RT o UT (preferible RT) → Si fillet welds: $t \leq 8$: RT o UT (ambas tienen limitaciones) $8 < t \leq 40$: RT o UT (preferible UT)
Shrinkage cavity	(Esta cavidad se forma cuando el metal se enfría y se solidifica, pero no hay suficiente metal fundido para llenar el área). Short imperfections permitted, but not breaking of the surfaces. → Butt welds: $h \leq 0,4*s$ (4mm max) → Fillet welds: $h \leq 0,4*a$ (4mm max)	-	→ Si butt welds: RT o UT (preferible RT) → Si fillet welds: $t \leq 8$: RT o UT (ambas tienen limitaciones) $8 < t \leq 40$: RT o UT (preferible UT)
Crater pipe	El valor del que se deja constancia es el mayor entre h y l: → $0,5 \leq t \leq 3$: $h(\text{or } l) \leq 0,2*t$ → $t > 3$: $h(\text{or } l) \leq 0,2*t$ (2 mm max)		RT o UT (preferible RT)
Slag inclusion (only butt welds)	$h \leq 0,4*s$ (4 mm max) $l \leq s$ (75 mm max)	-	RT o UT (preferible RT)
Oxide inclusion (only fillet welds)	$h \leq 0,4*a$ (4mm max) $l \leq a$ (75 mm max)	-	$t \leq 8$: RT o UT (ambas tienen limitaciones) $8 < t \leq 40$: RT o UT (preferible UT)
Lack of fusion			RT o UT (preferible RT)
Lack of inter-run fusion	→ Butt welds: $h \leq 0,4*s$ (4 mm max)		RT o UT (preferible RT)
Lack of root fusion	→ Fillet welds: $h \leq 0,4*a$ (4mm max)		→ Si penetración total: RT o UT (preferible RT) → Si penetración parcial: O definir métodos de ensayo especiales o asegurarse mediante el proceso de soldado
Incomplete root penetration	Short imperfections are allowed. → $h \leq 0,2*anominal$ (2mm max)		O definir métodos de ensayo especiales o asegurarse mediante el proceso de soldado
Imperfections in joint geometry			
Linear misalignment between plates	→ $0,5 \leq t \leq 3$: $h \leq 0,25*t + 0,2$ [mm] → $t > 3$: $h \leq 0,25*t$ (5 mm max)		VT
Incorrect root gap for fillet welds	Gaps exceeding the appropriate limit may, in certain cases, be compensated for by a corresponding increase in the throat thickness. → $0,5 \leq t \leq 3$: $h \leq 0,1*a + 0,5$ [mm] → $t > 3$: $h \leq 0,3*a + 1$ [mm] (4 mm max)		→ VT → fillet welds: $t \leq 8$: RT o UT (ambas tienen limitaciones) $8 < t \leq 40$: RT o UT (preferible UT)

Tabla 15. Defectos de soldadura y métodos de ensayo

ANEXO V: TABLA DE ELECCIÓN DE EXIGENCIAS DE CALIDAD

Criterio	ISO 3834-2	ISO 3834-3	ISO 3834-4
Review of requirements para verificar que: El trabajo esta dentro del espectro de sus capacidades. Tiene suficientes recursos disponibles para llegar a los plazos de entrega. La documentación está clara y no es ambigua	Se deben considerar los siguientes aspectos: - El estándar a usar, junto con cualquier requerimiento adicional - Requisitos regulatorios y legislativos - Requisitos adicionales definidos por el fabricante - La capacidad del fabricante de cumplir los requisitos Es obligatorio mantener un registro	Se consideran los mismos aspectos que en la ISO 3834 -2. Se puede exigir que se mantenga un registro.	El fabricante debe revisar los requerimientos para verificar que tienen las competencias para realizar ese trabajo, que pueden llegar a las fechas de entrega y que la documentación está clara. Registro no exigible.
Sub-contracting	No hay limitaciones en cuanto a las subcontrataciones. El fabricante sigue siendo responsable de los documentos, certificados y entregables requeridos y en ningún caso lo será la empresa subcontratada		
Welders and welding operators (WPQ)	Los soldadores y los supervisores de soldadura deben estar cualificados apropiadamente. Para ello, se requiere que cumplan la norma que aparece en ISO 3834- 5, tabla 1, para soldadura de arco		
Welding coordination personnel	El fabricante deberá tener a su disposición personal de coordinación de soldadura apropiado. Con autoridad suficiente para tomar decisiones. Sus tareas y responsabilidades deben estar claramente definidas. Para ello, se requiere que cumplan la norma que aparece en ISO 3834- 5, tabla 2, para soldadura de arco. (ISO 14731)	Se exige exactamente lo mismo que en la ISO 3834-2 (ISO 14731)	No se hace referencia a este puesto
Inspection and testing personnel	General: El fabricante deberá tener a su disposición personal competente para planear, realizar y supervisar la inspección y el test de los productos soldados. Personal de NDT: Deben estar cualificados. Para los test visuales, no se requiere siempre un examen de cualificación. En ese caso su competencia debe ser verificada por el fabricante. Para ello, se requiere que cumplan la norma que aparece en ISO 3834- 5, tabla 3, para soldadura de arco. (ISO 9712 - NIVEL DEL INSPECTOR NO RELACIONADO A ISO3834 2 O 3)	Se exige exactamente lo mismo que en la ISO 3834-2 (ISO 9712 - NIVEL DEL INSPECTOR NO RELACIONADO A ISO3834 2 O 3)	General: El fabricante deberá llevar a cabo inspecciones y test. Personal de NDT: exige lo mismo que la ISO 3834-2
Production and testing equipment	El equipo que debe estar disponible: - Fuentes de energía y otras máquinas - Equipo para la preparación de uniones y superficies y para cortar, incluyendo corte térmico - Equipo para precalentamiento y tratamientos de calor post soldadura, incluyendo un termómetro. - Tener utillaje necesario - Grúas y equipo para el manejo de usados en producción - Equipo de protección y seguridad - Hornos, fundas para los consumibles de la soldadura - Equipo para la limpieza de superficies - Equipo para DT y NDT	Se exige exactamente lo mismo que en la ISO 3834-2	El equipo de soldadura debe estar disponible y mantenido en un orden apropiado
Equipment maintenance	Exige una documentación de los planes para el mantenimiento del equipo. Este plan debe asegurar checks-lists para los items que son esenciales para asegurar la calidad del producto. Ejemplos de estos items: - Condición de los amperímetros y voltímetros usados para la soldadura - Condición de las guías de equipación para corte térmico - Condición de cables, manguitos y conectores - Condición de termómetros El equipo defectuoso no se utilizará	Recomienda un registro del mantenimiento del equipo, aunque exige que esté bien matenido	
Description of equipment	Se debe mantener una lista del material esencial usado para la producción. En esta lista se hallarán items de equipos principales, esenciales para la evaluación de la capacidad (volumen y competencia). Esto incluye: - La capacidad máxima de las grúas - El tamaño de componente que el taller puede manejar - La capacidad del equipo de soldadura - Dimensiones y temperatura máxima de los hornos para los tratamientos post soldadura	Se exige exactamente lo mismo que en la ISO 3834-2	
Production planning	Se debe llevar a cabo un plan de producción adecuad y documentado, teniendo en cuenta los siguientes items: - Especificación de la secuencia de fabricación - Identificación de procesos individuales requerido para la producción del item - Especificación de procedimientos adecuada para soldaduras y procesos afines - Secuencia en que se tienen que hacer las soldaduras - Orden y tiempo para cada uno de los procesos - Especificación para la inspección y los test	El/Los parámetros que la ISO 3834-3 no considera están marcados a la izquierda en rojo Se exige que hagan el plan pero NO que exista el registro o que esté documentado	

Welding procedure specification (WPS)	El fabricante preparará las especificaciones de los procesos de soldadura y se asegurará que se usen correctamente. Para ello, se requiere que cumplan la norma que aparece en ISO 3834- 5, tabla 4, para soldadura de arco (ISO 15609-1 - 10.2)	Se exige exactamente lo mismo que en la ISO 3834-2 (ISO 15609-1 - 10.2)	No hay
Qualification of the welding procedures (WPQR)	Los procesos deben estar cualificados previo a la producción. El método debe estar en concordancia con los estándares establecidos. Para ello, se requiere que cumplan la norma que aparece en ISO 3834- 5, tabla 5, para soldadura de arco. (ISO 15614-1 - 10.3)	Se exige exactamente lo mismo que en la ISO 3834-2 (ISO 15614-1 - 10.3)	
Batch testing of consumables	Se pueden exigir pero la norma no los obliga	No requeridos	No requeridos
Storage and handling of welding consumables	Se requiere un proceso para almacenaje, entrega, identificación y uso de los consumibles. Estos procesos han de estar acorde a las recomendaciones del proveedor	Se exige exactamente lo mismo que en la ISO 3834-2	El fabricante debe asegurarse de que los consumibles correctos son almacenados y usados acorde a las recomendaciones del proveedor.
Storage of parent material	El almacenaje debe ser tal que el material no se vea afectado. Almacenado el material debe seguir siendo identificable.	Se exige exactamente lo mismo que en la ISO 3834-2	No se hace mención a este punto
Post-weld heat treatment	El fabricante se hará totalmente responsable de la especificación y la realización de cualquier tratamiento post soldadura. El proceso debe ser compatible a la soldadura, la geometría de la pieza soldada y el material base. El proceso debe estar acorde a el estándar del producto establecido. Se exige un registro de los tratamientos que demuestre que se han seguido las especificaciones y que ese producto es trazable. Para ello, se requiere que cumplan la norma que aparece en ISO 3834- 5, tabla 6, para soldadura de arco. (ISO 17663 - 13)	Se exige exactamente lo mismo que en la ISO 3834-2 (ISO 17663 - 13)	No se hace mención a este punto
Inspection and testing before, during and after welding	Se procede a explicar lo que deben contener los check-list de antes, durante y después de la soldadura. Antes: - Adecuación y validez de los documentos de calificación de soldadores y operadores de soldadura - Adecuación de la especificación del procedimiento de soldadura - Identificación del material base - Identificación de los consumibles - Preparación de la unión soldada (forma, dimensiones) - Requisitos especiales en el WPS - Adecuación de las condiciones de trabajo para la soldadura, incluyendo el entorno Durante: - Parámetros esenciales para la soldadura como el voltaje del arco, la corriente y la velocidad de avance. - Temperatura de precalentado - Limpieza y forma de los cordones y capas del metal de la soldadura - Secuencia de las soldaduras - Uso y entrega de los consumibles apropiados - Control de distorsiones - Cualquier examinación intermedia (check de las dimensiones) Para ello, se requiere que cumplan la norma que aparece en ISO 3834- 5 tabla 7, para soldadura de arco (ISO 13916- 14.3) Después: - VT - NDT - DT - Forma, geometría y dimensiones de la construcción - Resultados y registros de operaciones post soldadura Para ello, se requiere que cumplan la norma que aparece en ISO 3834- 5, tabla 8, para soldadura de arco (ISO 17635)	Se exige exactamente lo mismo que en la ISO 3834-2 (ISO 17635)	Tests después de la soldadura exigibles

Non-conformance and corrective actions	Se implementan medidas de control y se exigen procedimientos de reparación o rectificación	Se exige exactamente lo mismo que en la ISO 3834-2	Se implementan medidas de control para prevenir la aceptación de piezas no conformes
Calibration or validation of measuring inspection and testing equipment	Todas las medidas, inspecciones y test del equipamiento que se usa para evaluar la calidad de las soldaduras debe ser controlado, calibrado y validado cada cierto tiempo. La concordancia con el WPS debe estar verificada y validada mediante mediciones, inspecciones y tests. Para ello, se requiere que cumplan la norma que aparece en ISO 3834- 5, tabla 9, para soldadura de arco (ISO 17662 - 16)	No se requiere, pero se puede exigir. La concordancia con el WPS debe estar verificada y validada mediante mediciones, inspecciones y tests. Para ello, se requiere que cumplan la norma que aparece en ISO 3834- 5, tabla 9, para soldadura de arco (ISO 17662 - 16)	No se hace mención a este punto
Identification during process	Se puede exigir pero la norma no lo obliga. Estos documentos deben incluir la identificación de: - Planes de producción - Hojas de ruta - La localización de las soldaduras en la construcción - Procesos y personal para los NDT - Consumible - Localización de las reparaciones - Ubicación de los elementos temporales de sujeción		No se hace mención a este punto
Traceability	Se puede exigir la trazabilidad (no obligada por norma) de: - Del material base - Unidades de soldadura completamente mecanizadas y automáticas de soldaduras específicas - Del soldador y los operadores de soldadura de soldaduras específicas - Del WPS de soldaduras específicas	El/Los parámetros que la ISO 3834-3 no considera están marcados a la izquierda en rojo. Por lo demás igual, exigible pero no obligada	No exigible
Quality records	Deben incluir, cuando sea aplicable: - Record del requirement y el technical review - Documentos de inspección del material - Documentos de inspección de los consumibles - WPS - Registros del mantenimiento de los equipos - WPQR - Documentos de cualificación de los soldadores y operadores de soldadura - Plan de producción - Documentos del personal del NDT - Registros y especificaciones de los procedimientos de los tratamientos de calor - DT y NDT test, procedimientos e informes - Informes dimensionales - Registros de reparaciones y no conformidades - otros, si se exigen	El/Los parámetros que la ISO 3834-3 no considera están marcados a la izquierda en rojo	Exigible pero no obligada por la norma

Tabla 16. Selección de nivel de exigencia

ANEXO VI: CÁLCULOS NECESARIOS PARA EL ESTUDIO ECONÓMICO.

ANEXO VI.I: FUTURO TIEMPO CONSERVADO

Hipótesis:

1. Los pedidos llegan con la misma frecuencia.
2. Cada pedido tiene el mismo nº de pórticos (10).
3. Todos los meses tienen una duración de 30 días.
4. Todos los meses tienen 4 semanas.

Mediante los datos de 2023, y los modelos a ensayar, se detallan el número de pórticos que se utilizan en un año:

$$\begin{array}{rcl}
 & 452 \cdot 2 = 904 & \text{del proveedor A} \\
 + & 325 & \text{del pórtico soldado} \\
 & 818 & \text{de torres de iluminación} \\
 & \underline{114 \cdot 2 = 228} & \text{de proveedores A y B} \\
 & 2275 & \text{:TOTAL}
 \end{array}$$

El calendario laboral de la fábrica expone que tienen 36 días al año entre festivos y los días que cierra la fábrica en verano.

$$366 - 36 = 330 \text{ días trabaja el empleado; } 330/30 = 11 \text{ meses}$$

$$2275 \left[\frac{\text{beams}}{\text{año}} \right] / 11 \left[\frac{\text{meses}}{\text{año}} \right] \approx 207 \left[\frac{\text{beams}}{\text{mes}} \right] \text{ llegan a Atlas}$$

Cada pedido llega en lotes de 10 y se comprueba 1 al azar por lote. Si la pieza llega mal, se revisa otra para verificar que no es un problema del lote entero.

- Si todas las beams están bien hay que revisar $207/10 \approx 21 \text{ beams/mes}$
- Según los PPM del proveedor, la probabilidad de que llegue un elemento defectuoso es:

$$\text{PPM} = 13.000/1.000.000 = 1,3\%$$

- La probabilidad de que se den dos defectuosas seguidas es muy baja así que no se tendrá en cuenta.

$$P_{2 \text{ defectuosas}} = 0,013^2 = 0,0169\%$$

- Se calculan las pértigas que hay que coger por lote, sumando las probabilidades de que haya que coger una pértiga y esté bien, sumado a la de que sea defectuosa y se tenga que coger otra

$$P_{\text{beams}} = 1 * (0,987) + 2 * (0,013 * 0,987) = 1,013$$

Multiplicado para las 21 **beams/mes**, da un resultado de 21,273 redondeado a **22**.

Se estudian los tiempos que se tarda en validar una pieza, pre y post-estudio en 10 validaciones. Se hace una media en ambos casos y se calcula la diferencia, que resulta de **21 minutos**.

Previo al estudio				
Vez	Salida	Entrada	Validaciones	
1	11:30:00	13:04:26	1:34:26	
2	10:27:35	12:34:19	2:06:44	
3	10:07:02	12:09:52	2:02:50	
4	11:09:21	12:58:10	1:48:49	
5	11:11:56	13:02:26	1:50:30	
6	9:04:11	11:23:54	2:19:43	
7	10:28:02	12:12:15	1:44:13	
8	11:58:00	13:45:00	1:47:00	
9	9:24:13	10:56:34	1:32:21	
10	9:05:23	11:12:52	2:07:29	
			1:53:25	

Post estudio				
Vez	Salida	Entrada	Validaciones	
1	11:25:04	12:54:26	1:29:22	
2	10:27:35	11:54:19	1:26:44	
3	11:35:14	12:49:52	1:14:38	
4	10:53:21	12:34:43	1:41:22	
5	9:11:56	10:34:12	1:22:16	
6	9:53:11	10:56:54	1:03:43	
7	10:28:02	12:12:15	1:44:13	
8	11:58:00	13:45:00	1:47:00	
9	8:58:55	10:56:34	1:57:39	
10	11:05:44	12:35:58	1:30:14	
			1:31:43	

Esos 21 minutos se multiplican por las 22 pértigas/mes y resultan 441 minutos al mes, que son **7 horas y 42 minutos ahorrados al mes**.

Salario ingeniero: 37.900 €/año (brutos) -> 3.158 €/mes, como trabaja 160 h/mes, su salario por hora se puede aproximar a:

$$3.158 / 160 = 19,74 \text{ [€/h]}$$

$$7,7 \text{ [h/mes]} * 19,74 \text{ [€/h]} = \mathbf{151,998€/mes}$$

ANEXO VI.II: VAN y TIR

Se considera que la inversión inicial es la suma de:

- El presupuesto de los ensayos: 2.695 €
- Los recursos de Atlas: 1.801,21 €
- La normativa ISO: 800 €

La inversión total es de 5.296,21 €.

A partir de $t = 4$, se recuperan 152 €/mes

El salario del empleado destinado al estudio es de 1.579 €/mes durante 4 meses.

La tasa de descuento mensual es de 0,004.

Utilizamos la siguiente fórmula:

$$VAN = PV_0 + PV_1 + PV_2 + PV_3 + PV_4 + PV_{\text{perpetuo}}$$

Siendo:

$$PV_t = \frac{C_t}{(1+d)^t} \quad PV_{\text{perpetuo}} = \sum_{t=5}^{\infty} \frac{C_t}{(1+d)^t}$$

Para el caso 1:

$$PV_0 = I_0 = - 5.296 \text{ €}$$

$$PV_1 = \frac{-1579,16}{(1+0,004)^1} = - 1.572,85\text{€}$$

$$PV_3 = \frac{-1579,16}{(1+0,004)^3} = - 1.560,36\text{€}$$

$$PV_2 = \frac{-1579,16}{(1+0,004)^2} = - 1.566,58\text{€}$$

$$PV_4 = \frac{-1579,16}{(1+0,004)^4} = - 1.554,18\text{€}$$

Para calcular los flujos de caja perpetuos utilizamos la fórmula de la anualidad perpetua diferida:

$$PV_{\text{perpetuo}} = \frac{C_t}{d} \cdot \frac{1}{(1+d)^{t_{\text{perpetuo}}-1}} = \frac{152}{0,004} \cdot \frac{1}{(1+0,004)^4} = 37.398,08 \text{ €}$$

$$VAN_1 = - 5.296 - 1.572,85 - 1.566,58 - 1.560,36 - 1.554,18 + 37.398,08 = 25.847,90 \text{ €}$$

Para el caso 2:

Se incluye un PV_{24} en la suma del VAN, éste solo incluye el ahorro de la máquina que se habría roto de no haber realizado el estudio.

$$PV_{24} = \frac{15826,88}{(1+0,004)^{24}} = 14.380,90 \text{ €}$$

$$VAN_2 = - 5.296 - 1.572,85 - 1.566,58 - 1.560,36 - 1.554,18 + 37.398,08 + 14.380,90 = 40.228,8 \text{ €}$$

Para calcular la TIR, cogemos la fórmula anterior pero igualada a 0 a ver qué tasa de descuento nos resulta.

Caso 1:

$$0 = -5.296 + \frac{-1579,16}{(1+TIR)^1} + \frac{-1579,16}{(1+TIR)^2} + \frac{-1579,16}{(1+TIR)^3} + \frac{-1579,16}{(1+TIR)^4} +$$

$$\frac{152}{TIR} \cdot \frac{1}{(1+TIR)^4} \rightarrow TIR = 1,266\%$$

Caso 2:

$$0 = -5.296 + \frac{-1579,16}{(1+TIR)^1} + \frac{-1579,16}{(1+TIR)^2} + \frac{-1579,16}{(1+TIR)^3} + \frac{-1579,16}{(1+TIR)^4} +$$

$$\frac{152}{TIR} \cdot \frac{1}{(1+TIR)^4} + \frac{15826,88}{(1+TIR)^{24}} \rightarrow TIR = 3,363\%$$