

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 977 961**

51 Int. Cl.:

B21D 13/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **04.02.2021 PCT/EP2021/052654**

87 Fecha y número de publicación internacional: **12.08.2021 WO21156359**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.02.2021 E 21710184 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **31.01.2024 EP 4100183**

54 Título: **Sistema de plegado para formar ondulaciones y procedimiento de utilización del sistema**

30 Prioridad:

06.02.2020 FR 2001184

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

03.09.2024

73 Titular/es:

**GAZTRANSPORT ET TECHNIGAZ (100.0%)
1 Route de Versailles
78470 Saint-Rémy-lès-Chevreuse, FR**

72 Inventor/es:

PERROT, OLIVIER

74 Agente/Representante:

GONZÁLEZ PECES, Gustavo Adolfo

ES 2 977 961 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Sistema de plegado para formar ondulaciones y procedimiento de utilización del sistema

Campo técnico

La invención se refiere a una instalación de plegado para formar ondulaciones en una lámina metálica.

- 5 La lámina metálica ondulada obtenida mediante una instalación de plegado de este tipo está destinada a la construcción de una membrana sellada para un depósito, la invención también se refiere al campo de los depósitos de membrana sellada y termoaislantes para el almacenamiento y/o el transporte de un fluido como un gas licuado.

Antecedentes tecnológicos

- 10 El documento KR20150100009 divulga una instalación para formar láminas corrugadas destinadas a formar una membrana sellada para un depósito de gas natural licuado. La instalación de formación incluye un dispositivo equipado con rodillos perfiladores y que permite la formación continua de ondulaciones longitudinales, es decir, ondulaciones que se extienden paralelas a la dirección de avance de la hoja. A continuación, las hojas se cortan y pasan a una prensa adaptada para prensar las hojas y, en cada carrera de la prensa, formar una ondulación transversal, es decir, una ondulación que se extiende perpendicularmente a las ondulaciones longitudinales. Este sistema permite producir
15 láminas onduladas de gran longitud.

- Sin embargo, esta instalación no es del todo satisfactoria. En particular, las ondulaciones transversales no se producen de forma continua, lo que degrada la eficacia del procedimiento de conformado de láminas onduladas. Además, las ondulaciones transversales se producen mediante un procedimiento de prensado y no de plegado. Ahora bien, a diferencia de las operaciones de plegado, las operaciones de prensado tienen por efecto modificar el espesor de la
20 lámina metálica a nivel de la ondulación y, en consecuencia, degradar las propiedades mecánicas de las láminas onduladas. EP3360620 divulga una instalación de plegado según el preámbulo de la reivindicación 1. WO2017077214 divulga una instalación de plegado para formar una ondulación perpendicular a dicha ondulación preformada en una lámina metálica que tiene una ondulación preformada.

Resumen

- 25 Una idea de la invención es proponer una instalación de plegado sencilla y eficaz para formar ondulaciones transversales en una lámina metálica. Otra idea de la invención es proponer una instalación de plegado que permita fabricar ondulaciones de forma más productiva. Otra idea de la invención consiste en proponer una instalación de plegado que permita obtener ondulaciones sin modificar significativamente el espesor de las láminas.

- 30 De acuerdo con una realización, la invención proporciona una instalación de plegado para formar ondulaciones transversales en una lámina metálica, la instalación de plegado incluye:

- un dispositivo de accionamiento que hace avanzar la lámina metálica horizontalmente desde la parte trasera hacia la delantera en una dirección de avance, y

- un dispositivo de plegado que incluye:

- 35 - un bastidor montado para ser móvil paralelamente a la dirección de avance entre una posición trasera y una posición delantera, estando dicho bastidor asociado a un primer accionador adaptado para mover dicho bastidor entre la posición trasera y la posición delantera,

- 40 - un punzón alargado en una dirección transversal ortogonal a la dirección de avance, el punzón móvil verticalmente en el bastidor entre una posición de reposo y una posición de plegado en la que dicho punzón deforma la lámina metálica para formar una de las ondulaciones transversales, el punzón asociado a un segundo accionador adaptado para mover dicho punzón entre la posición de reposo y la posición de plegado, y

- una unidad de control configurada para controlar el primer accionador y el segundo accionador y configurada simultáneamente para mover el bastidor del dispositivo de plegado desde la posición trasera hacia la posición delantera y el punzón desde la posición de reposo hacia la posición de plegado.

- 45 Así, una instalación de plegado de este tipo permite el plegado continuo de láminas para producir ondulaciones sin modificar significativamente el espesor de la lámina metálica.

Las realizaciones de una instalación de plegado de este tipo tienen una o más de las siguientes características.

De acuerdo con una realización, la lámina metálica está destinada a la formación de una membrana para un depósito de almacenamiento de un gas licuado.

De acuerdo con una realización, la unidad de control está configurado para controlar el dispositivo de accionamiento de tal manera como para avanzar la lámina metálica desde la parte trasera hacia la parte delantera a una velocidad V1 y la unidad de control está configurada de tal manera que:

5 - el segundo accionador mueve el punzón en la dirección de la posición de plegado a una velocidad tal que $\frac{dr}{dt} = V1$ donde

r representa la reducción de la dimensión de la lámina metálica en la dirección de avance f debido a la operación de plegado, y

t representa el tiempo.

10 De acuerdo con una realización, la unidad de control está configurada para controlar el dispositivo de accionamiento de tal manera como para mover la lámina metálica desde la parte trasera hacia la parte delantera a una velocidad V1 y la unidad de control está configurada de tal manera que:

- el segundo accionador mueve el punzón en la dirección de la posición de plegado a una velocidad V7 comprendida entre $0,95 \frac{V1}{2 \times \left(\frac{1}{\sin \alpha} - \frac{1}{\tan \alpha} \right)}$ y $1,05 \frac{V1}{2 \times \left(\frac{1}{\sin \alpha} - \frac{1}{\tan \alpha} \right)}$ inclusive y preferentemente igual a $\frac{V1}{2 \times \left(\frac{1}{\sin \alpha} - \frac{1}{\tan \alpha} \right)}$

donde

15 α : representa el ángulo formado entre uno de los lados de la sección del punzón y un eje horizontal.

De acuerdo con una realización, la unidad de control está configurada de modo que:

20 - el primer accionador mueve el bastidor del dispositivo de plegado desde la posición trasera hacia la posición delantera a una velocidad V2 que es igual a V1 durante el movimiento del punzón desde la posición de reposo hacia una posición intermedia en la que dicho punzón entra en contacto con la lámina metálica y que es inferior a V1 durante el movimiento del punzón desde la posición intermedia hacia la posición de plegado.

25 De acuerdo con una realización, la unidad de control está configurada para que el primer accionador mueva el bastidor del dispositivo de plegado desde la posición trasera hacia la posición delantera a una velocidad V2 que está entre $0,95 \times \frac{1}{2} V1$ y $1,05 \times \frac{1}{2} V1$ inclusive durante el movimiento del punzón desde la posición intermedia hacia la posición de plegado. La velocidad V2 es preferentemente igual a $\frac{1}{2} V1$, la gama de velocidades antes mencionada que permite tener en cuenta los fenómenos parásitos, como los fenómenos de deslizamiento en particular.

De acuerdo con una realización, la unidad de control está configurada para que el primer accionador continúe el movimiento del bastidor hacia la posición delantera cuando el segundo accionador mueve el punzón desde la posición de plegado hacia la posición de reposo.

De acuerdo con una realización, el dispositivo de plegado incluye:

30 - un bastidor auxiliar inferior montado para desplazarse verticalmente sobre el bastidor del dispositivo de plegado y dispuesto frente al punzón, estando dicho bastidor auxiliar inferior asociado a un tercer accionador adaptado para mover el bastidor auxiliar inferior entre una posición de reposo y una posición de plegado, y

35 - dos matrices laterales, cada una de las cuales tiene una superficie de apoyo superior destinada a recibir la lámina metálica y una media impresión, las dos matrices laterales están montadas para deslizarse horizontalmente sobre el bastidor auxiliar inferior en una dirección paralela a la dirección de avance entre una posición separada y una posición junta en la que las medias impresiones juntas forman una impresión con una forma complementaria a la del punzón.

De acuerdo con una realización, las matrices laterales incluyen cada una o más ranuras que se extienden paralelas a la dirección de avance y cada una destinada a recibir una ondulación longitudinal formada previamente.

40 De acuerdo con una realización, la unidad de control está configurada para que el tercer accionador mueva el bastidor auxiliar inferior desde la posición de reposo a la posición de plegado durante el movimiento del punzón desde la posición de reposo hacia una posición intermedia en la que dicho punzón entra en contacto con la lámina.

De acuerdo con una realización, el dispositivo de plegado incluye miembros de retorno que están configurados para devolver las guías laterales hacia la posición separada.

45 De acuerdo con una realización, el punzón está fijado a un émbolo que es capaz de ser movido por el primer accionador con el fin de mover el punzón entre la posición de reposo y la posición de plegado, el dispositivo de plegado que incluye dos cojines de matriz que están dispuestos en respectivos lados opuestos del punzón, cada cojín de matriz que incluye una superficie de sujeción frente a una de las matrices laterales, cada cojín de matriz está montado para ser móvil verticalmente en un respectivo soporte de cojín de matriz, los soportes de cojín de matriz están montados

para ser móviles horizontalmente en el émbolo paralelo a la dirección de avance entre una posición separada y una posición junta. Esto permite garantizar que la lámina metálica ondulada producida de este modo sea plana.

5 De acuerdo con una realización, la instalación de plegado incluye además, aguas arriba del dispositivo de plegado, un dispositivo de perfilado configurado para formar al menos una ondulación que se extiende paralela a la dirección de avance. De este modo, la instalación de plegado permite fabricar láminas con ondulaciones perpendiculares entre sí.

De acuerdo con una realización, la instalación de plegado incluye además, aguas abajo del dispositivo de plegado, un dispositivo de conformado que está configurado para modificar una ondulación plegada de antemano mediante el dispositivo de plegado.

De acuerdo con una realización, el dispositivo de conformado incluye:

10 - un bastidor montado para desplazarse paralelamente a la dirección de avance entre una posición trasera y una posición delantera, estando dicho bastidor asociado a un cuarto accionador capaz de desplazar dicho bastidor entre la posición trasera y la posición delantera, y

15 - un punzón montado para desplazarse verticalmente sobre el bastidor del dispositivo de conformado entre una posición de reposo y una posición de conformado en la que dicho punzón deforma la lámina metálica para modificar la forma de una ondulación transversal formada previamente por el dispositivo de plegado, estando el punzón asociado a un quinto accionador adaptado para desplazar dicho punzón entre la posición de reposo y la posición de conformado.

De acuerdo con una realización, la unidad de control está configurada para controlar el cuarto accionador y el quinto accionador.

20 De acuerdo con una realización, la unidad de control está configurada para controlar el dispositivo de accionamiento de tal manera que haga avanzar la lámina metálica desde la parte trasera hacia la parte delantera a una velocidad V1 y la unidad de control está configurada para que el cuarto accionador mueva el bastidor del dispositivo de conformado desde la posición trasera hacia la posición delantera a una velocidad V3 que es igual a V1 durante el movimiento del punzón del dispositivo de conformado desde la posición de reposo hacia una posición intermedia en la que el punzón del dispositivo de conformado entra en contacto con la lámina metálica y que es cero durante el movimiento del punzón del dispositivo de conformado desde la posición intermedia hacia la posición de plegado.

De acuerdo con una realización, la invención también proporciona un procedimiento para utilizar la instalación de plegado antes mencionada, el procedimiento que comprende:

30 - posicionar una lámina metálica de forma que el dispositivo de accionamiento haga avanzar la lámina metálica, y
- controlando el primer accionador y el segundo accionador por medio de la unidad de control de tal manera que simultáneamente muevan el bastidor del dispositivo de plegado desde la posición trasera hacia la posición delantera y el punzón desde la posición de reposo hacia la posición de plegado.

Las realizaciones de un procedimiento de este tipo para utilizar una instalación de plegado incluyen una o más de las siguientes características.

De acuerdo con una realización, el segundo accionador se controla de modo que:

35 - el segundo accionador mueve el punzón en la dirección de la posición de plegado a una velocidad tal que $\frac{dr}{dt} = V1$ donde

r: representa la reducción de la dimensión de la lámina metálica en la dirección de avance f durante la operación de plegado, y

t: representa el tiempo.

40 De acuerdo con una realización, el segundo accionador se controla de manera que el segundo accionador mueve el punzón en la dirección de la posición de plegado a una velocidad V7 entre $0,95 \frac{V1}{2 \times \left(\frac{1}{\sin \alpha} - \frac{1}{\tan \alpha} \right)}$ y $1,05 \frac{V1}{2 \times \left(\frac{1}{\sin \alpha} - \frac{1}{\tan \alpha} \right)}$ inclusive y preferentemente igual a $\frac{V1}{2 \times \left(\frac{1}{\sin \alpha} - \frac{1}{\tan \alpha} \right)}$ donde

α representa el ángulo formado entre uno de los lados de la sección del punzón y un eje horizontal.

45 De acuerdo con una realización, el primer accionador se controla de tal manera que mueve el bastidor del dispositivo de plegado desde la posición trasera hacia la posición delantera a una velocidad V2 que está entre $0,95 \times \frac{1}{2} V1$ y $1,05 \times \frac{1}{2} V1$ inclusive, y ventajosamente igual a $\frac{1}{2} V1$, durante el movimiento del punzón de una posición intermedia en que el punzón del dispositivo de doblar entra contacto con la lámina metálica hacia la posición de plegado.

De acuerdo con una realización, el primer accionador y el segundo accionador se controlan de tal manera como para continuar el movimiento del bastidor hacia la posición delantera durante el movimiento del punzón de la posición de plegado hacia la posición de reposo.

5 De acuerdo con una realización, la instalación de plegado incluye además, aguas abajo del dispositivo de plegado, un dispositivo de conformado que está configurado para modificar una ondulación plegado de antemano por medio del dispositivo de plegado, incluyendo el dispositivo de conformado:

- un bastidor montado para moverse paralelamente a la dirección de avance entre una posición trasera y una posición delantera, estando dicho bastidor asociado a un cuarto accionador adaptado para mover dicho bastidor entre la posición trasera y la posición delantera, y

10 - un punzón montado para moverse verticalmente sobre el bastidor del dispositivo de conformado entre una posición de reposo y una posición de conformado en la que dicho punzón deforma la lámina metálica para modificar la forma de una ondulación transversal formada de antemano por el dispositivo de plegado, estando el punzón asociado a un quinto accionador adaptado para mover dicho punzón entre la posición de reposo y la posición de conformado, y el cuarto accionador está controlado de tal manera que mueve el bastidor del dispositivo de conformado desde la posición
15 delantera hacia la posición trasera a una velocidad V3 que es igual a V1 durante el movimiento del punzón del dispositivo de plegado desde la posición de reposo hacia una posición intermedia en la que el punzón del dispositivo de plegado entra en contacto con la lámina metálica y que es cero durante el movimiento del punzón del dispositivo de plegado desde una posición intermedia en la que el punzón del dispositivo de plegado entra en contacto con la lámina metálica hacia la posición de plegado.

20 Breve descripción de las figuras

La invención se entenderá mejor y otros objetivos, detalles, características y ventajas de la misma se harán más claramente evidentes durante la siguiente descripción de realizaciones particulares de la invención dadas a modo de ilustración no limitativa sólo con referencia a los dibujos adjuntos.

25 La [Fig.1] es una vista de una lámina metálica ondulada destinada a la construcción de una membrana sellada de un depósito de almacenamiento de gas natural licuado.

La [Fig.2] es una vista esquemática de una instalación de plegado de acuerdo con una realización en un estado inicial.

La [Fig.3] es una vista esquemática de la instalación de plegado de la figura 2 en un segundo estado.

La [Fig.4] es una vista esquemática de la instalación de plegado de la figura 2 en un tercer estado.

La [Fig.5] es una vista esquemática de la instalación de plegado de la figura 2 en un cuarto estado.

30 La [Fig.6] es una vista esquemática de la instalación de plegado de la figura 2 en un quinto estado.

La [Fig.7] es una vista esquemática de la instalación de plegado de la figura 2 en un sexto estado.

Descripción de las realizaciones

35 La figura 1 ilustra una lámina 1 metálica ondulada destinada a la formación de una membrana sellada de un depósito de almacenamiento de un fluido, como el gas natural licuado.

40 La lámina 1 metálica incluye una primera serie de ondulaciones 2 paralelas que se extienden en una dirección y una segunda serie de ondulaciones 3 paralelas que se extienden en una dirección x. Las direcciones x e y de la serie de ondulaciones son perpendiculares. Las ondulaciones 2, 3 sobresalen de la cara interna de la lámina 1 metálica destinada a ponerse en contacto con el fluido contenido en el depósito. En este caso, los bordes de la lámina 1 metálica son paralelos a las ondulaciones 2, 3.

45 La lámina 1 metálica incluye entre las ondulaciones 2, 3 una pluralidad de superficies 4 planas. A nivel de cada cruce entre dos ondulaciones 2, 3, la lámina 1 metálica incluye una zona 5 de nodos. La zona del nodo 5 incluye una porción central 6 que tiene una parte superior que se proyecta hacia el interior del depósito. Además, la porción 6 central está flanqueada, por una parte, por un par de ondulaciones 7 cóncavas formadas en la cresta de la ondulación 3 y, por otra, por un par de depresiones 8 en las que penetra la ondulación 2.

Las ondulaciones 2, 3 de la lámina 1 metálica permiten que la membrana de sellado sea flexible para poder deformarse a causa de las cargas térmicas y mecánicas generadas por el fluido almacenado en el depósito.

La lámina 1 metálica puede ser, en particular, de acero inoxidable, aluminio, Invar®, es decir, una aleación de hierro y níquel cuyo coeficiente de dilatación se sitúa típicamente entre $1,2 \times 10^{-6}$ y $2 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, o una aleación de hierro con

un alto contenido de manganeso cuyo coeficiente de dilatación es típicamente del orden de $7 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$. No obstante, también puede contemplarse el uso de otros metales o aleaciones.

5 Por ejemplo, la lámina 1 metálica tiene un espesor aproximado de 1,2 mm. También se pueden prever otros espesores, sabiendo que un aumento del espesor de la lámina 1 metálica conlleva un aumento de su coste y, en general, aumenta la rigidez de las ondulaciones 2, 3.

A continuación se describe, con referencia a las figuras 2 a 7, una instalación 9 de plegado para formar ondulaciones paralelas en una lámina 1 metálica.

La instalación incluye una bobina 10 en la que se enrolla una tira de lámina 1 metálica.

10 La instalación 9 de plegado también incluye un dispositivo 11 de accionamiento que hace avanzar la lámina 1 metálica en una dirección de avance, simbolizada por una flecha f en las figuras 2, 3 y 4. Como se representa en las figuras 2 a 4, el dispositivo 11 de accionamiento incluye uno o más pares de rodillos. Cada par de rodillos incluye un rodillo inferior y un rodillo superior adaptados para disponerse verticalmente en los respectivos lados opuestos de la lámina 1 metálica. Los rodillos y la bobina 10 se articulan en torno a ejes de rotación horizontales y paralelos entre sí. Uno o 15 varios de los rodillos son accionados en rotación por un motor para hacer avanzar la lámina 1 metálica. Por consiguiente, el dispositivo 11 de accionamiento está configurado para hacer avanzar la lámina 1 metálica a una velocidad V1 constante.

En otra realización, el dispositivo de guía incluye la bobina 10 y un motor adaptado para accionar la bobina 10 en rotación y así desenrollar la lámina metálica.

20 En una realización no representada, la instalación 9 de plegado también incluye un dispositivo de perfilado configurado para formar en la lámina 1 metálica una o más ondulaciones longitudinales, es decir, ondulaciones que se extienden paralelas a la dirección de avance f. Para ello, el dispositivo de perfilado incluye, por ejemplo, rodillos de perfilado como los descritos en el documento KR20150100009.

En otra realización, la lámina 1 metálica que se alimenta a la instalación 9 de plegado incluye ondulaciones formadas de antemano que se extienden paralelas a la dirección de avance f.

25 Además, la instalación 9 de plegado incluye un dispositivo 12 de plegado destinado a formar una serie de ondulaciones transversales a la dirección de avance f. El dispositivo 12 de plegado incluye un bastidor 13 que está montado para ser móvil paralelamente a la dirección de avance entre una posición trasera representada en la figura 2 y una posición delantera representada en la figura 5. Para ello, el bastidor 13 está guiado, por ejemplo, sobre carriles que se extienden paralelos a la dirección de avance f. Además, la instalación 9 de plegado incluye al menos un accionador 14, como un 30 cilindro o un motor, que permite mover el bastidor 13 entre la posición trasera y la posición delantera.

El dispositivo 12 de plegado incluye además un émbolo 15 equipado con un punzón 16 destinado a deformar la lámina 1 metálica para formar una ondulación transversal. El punzón 16 es alargado en una dirección transversal que es ortogonal a la dirección de avance f. Cada punzón 16 incluye en su extremo inferior una cabeza que tiene una sección sustancialmente triangular, es decir una sección en forma de V. El émbolo 15 está montado para ser móvil 35 verticalmente en el bastidor 13 del dispositivo 12 de plegado entre una posición de reposo superior representada en la figura 2 y una posición de plegado inferior representada en la figura 5 en la que el punzón 16 deforma la lámina 1 metálica para formar una ondulación transversal. El dispositivo 12 de plegado incluye al menos un accionador 17, como un cilindro, por ejemplo, que permite mover el émbolo 15 entre la posición de reposo superior y la posición de plegado inferior.

40 Además, el dispositivo 12 de plegado incluye un bastidor auxiliar 18 inferior que está montado para ser móvil verticalmente en el bastidor 13 del dispositivo 12 de plegado entre una posición de reposo inferior ilustrada en la figura 2 y una posición de plegado superior representada en la figura 5. El dispositivo 12 de plegado incluye al menos un accionador 19, como un cilindro, por ejemplo, que permite mover el bastidor auxiliar 18 inferior entre la posición de reposo inferior y la posición de plegado superior.

45 El dispositivo 12 de plegado también incluye dos matrices 20, 21 laterales, respectivamente en la parte trasera y en la parte delantera, que están montadas para deslizarse horizontalmente sobre el bastidor auxiliar 18 inferior en una dirección paralela a la dirección de avance f, por ejemplo mediante carriles guía. Las matrices 20, 21 laterales incluyen una superficie de apoyo superior para la lámina 1 metálica. Cada una de las dos matrices 20, 21 laterales incluyen además una media impresión cóncava formada en el borde orientado hacia la otra matriz 20, 21 lateral. Cuando las 50 dos matrices 20, 21 laterales se encuentran en una posición próxima, las medias impresiones juntas forman una impresión correspondiente a la forma de la ondulación que se va a formar. De acuerdo con una realización, si las ondulaciones longitudinales se forman aguas arriba del dispositivo 12 de plegado, las matrices 20, 21 laterales incluyen cada una o más ranuras, cada una de las cuales corresponde a la forma de una de las ondulaciones longitudinales, estando cada ranura destinada a recibir una ondulación longitudinal formada de antemano en la lámina 1 metálica. 55 Las matrices 20, 21 laterales están montadas para ser móviles en el bastidor auxiliar 18 inferior entre una posición separada representada en la figura 2 y una posición junta representada en la figura 5.

- De acuerdo con una realización, la lámina 1 metálica se presiona contra las matrices 20, 21 laterales, por ejemplo por medio de cojines de matriz, como se describe más adelante, cuando se está doblando la lámina 1 metálica transmite una fuerza de tracción a las matrices 20, 21 laterales que por lo tanto los mueve desde la posición separada hacia la posición junta. Además, el dispositivo 12 de plegado incluye miembros de retorno, no ilustrados, tales como resortes mecánicos o resortes de gas, por ejemplo, que están configurados para retornar las matrices 20, 21 laterales desde la posición junta hacia la posición separada.
- De acuerdo con otra realización, el dispositivo 12 de plegado incluye accionadores dedicados, no representados en las figuras 2 a 5, que permiten el movimiento o la asistencia al movimiento de las matrices 20, 21 laterales entre su posición de separación y su posición junta.
- Además, de acuerdo con una realización que no se representa, el dispositivo 12 de plegado incluye además cojines de matriz que se extienden en lados opuestos respectivos del punzón 16 y cada uno de los cuales incluye una superficie de sujeción orientada hacia una de las matrices 20, 21 laterales. Los cojines de matriz están montados para ser móviles verticalmente sobre un soporte de cojines de matriz. Además, el dispositivo 12 de plegado incluye miembros elásticos que tienden a mover los cojines de matriz hacia una posición de tope inferior relativa a su respectivo soporte de cojín de matriz. Los soportes del cojín de la matriz están montados para deslizarse horizontalmente sobre el émbolo 15 en una dirección paralela a la dirección de avance f entre una posición separada y una posición junta. La movilidad vertical de los cojines de matriz con respecto al émbolo 15 permite que dichos cojines de matriz lleguen a presionar la lámina 1 metálica contra las matrices 20, 21 laterales en una posición vertical intermedia del émbolo 15 y, a continuación, compensar el descenso del émbolo 15 entre la posición intermedia y la posición de plegado.
- De acuerdo con una realización, estando la lámina 1 metálica aprisionada entre los cojines de matriz y las matrices 20, 21 laterales, el movimiento del émbolo 15 hacia la posición de plegado inferior conduce a la flexión de la lámina 1 metálica y ésta transmite una fuerza de tracción paralela a la dirección de avance a los cojines de matriz y mueve así los soportes de los cojines de matriz y, en consecuencia, los cojines de matriz y las matrices 20, 21 laterales desde la posición de separación hacia la posición junta. En una realización de esta clase el dispositivo 12 de plegado incluye miembros de vuelta, tales como resortes mecánicos o resortes de gas, por ejemplo, que se configuran para volver los cojines de matriz de la posición junta hacia la posición separada. De acuerdo con otra realización, el dispositivo 12 de plegado también puede incluir accionadores dedicados, no representados en las figuras 2 a 5, que permiten el movimiento o la asistencia al movimiento de los cojines de matriz entre su posición separada y su posición junta.
- De acuerdo con una realización que no se representa, cuando la lámina 1 metálica en la que deben formarse las ondulaciones transversales incluye ondulaciones longitudinales, el dispositivo 12 de plegado incluye cortadores configurados para proporcionar las ondulaciones cóncavas en cada una de las ondulaciones longitudinales en los respectivos lados opuestos de la ondulación transversal que debe proporcionarse. A modo de ejemplo, en la solicitud WO2017077214 se describen cortadores de este tipo y un mecanismo para accionar los cortadores.
- Además, la instalación 9 de plegado incluye opcionalmente un dispositivo 22 de conformado destinado a impartir su forma definitiva a las ondulaciones transversales formadas de antemano por el dispositivo de plegado. El dispositivo 22 de conformado incluye un bastidor 23 que está montado para ser móvil paralelamente a la dirección de avance entre una posición trasera representada en la figura 2 y una posición delantera representada en la figura 5, por ejemplo mediante carriles guía. La instalación incluye al menos un accionador 24, como un cilindro o un motor, que permite el movimiento del bastidor 23 entre la posición trasera y la posición delantera.
- El dispositivo 22 de conformado incluye además un punzón 25 que tiene una forma correspondiente a la forma final de las ondulaciones transversales. Así, el punzón 25 del dispositivo 22 de conformado tiene una forma semielíptica, mientras que el punzón 16 del dispositivo 12 de plegado tiene una forma sustancialmente triangular. El punzón 25 está montado para ser móvil verticalmente entre una posición de reposo superior representada en la figura 2 y una posición de conformado inferior representada en la figura 5 en la que el punzón 25 deforma la lámina 1 metálica para impartir su forma final a una ondulación transversal formada de antemano por el dispositivo 12 de plegado. El dispositivo 22 de conformado incluye al menos un accionador 26, como un cilindro, que permite el movimiento del punzón 25 entre la posición de reposo superior y la posición de conformado inferior.
- El dispositivo 22 de conformado también incluye una matriz 27 que está dispuesta frente al punzón 25 e incluye una impresión que tiene una forma complementaria a la del punzón 25. La matriz 27 está montada para ser móvil sobre el bastidor 23 del dispositivo 22 conformador entre una posición inferior representada en la figura 2 y una posición superior conformadora representada en la figura 5. El dispositivo 22 de conformado incluye al menos un accionador 28, como un cilindro, por ejemplo, que permite el movimiento de la matriz 27 entre la posición inferior y la posición superior de conformado.
- La instalación 9 de plegado incluye una unidad 29 de control que permite controlar los distintos accionadores 14, 17, 19, 24, 26, 28 y sincronizar el movimiento de los componentes de la instalación 9 de plegado. Para ello, los dispositivos 11 de accionamiento y cada uno de los accionadores 14, 17, 19, 24, 26, 28 descritos anteriormente están asociados a un sensor de posición que entrega a la unidad 29 de control una señal que representa la velocidad $V1$ de avance de la lámina 1 metálica, señales que representan la posición del bastidor 13 del dispositivo 12 de plegado del émbolo 15,

del bastidor auxiliar 18 y, opcionalmente, de los cojines de matriz y de las matrices 20, 21, laterales y señales que representan la posición del bastidor 23 del dispositivo 22 de conformado, del punzón del dispositivo 22 de conformado y de la matriz 27 del dispositivo 22 de conformado.

5 La unidad 29 de control incluye una memoria y un microprocesador que permiten almacenar y procesar datos de acuerdo con un procedimiento descrito en detalle más adelante. La unidad 29 de control está configurada más particularmente para que los distintos componentes de la instalación 9 de plegado sigan la cinemática descrita a continuación.

En el estado inicial, representado en la figura 2:

- 10 - el bastidor 13 del dispositivo 12 de plegado y el del dispositivo de conformado 22 están en posición trasera, - el émbolo 15 del dispositivo 12 de plegado está en posición de reposo superior,
- el bastidor auxiliar inferior 18 del dispositivo 12 de plegado está en posición de reposo inferior,
- los cojines de matriz y las matrices 20, 21 laterales, que son opcionales, están en posición separada,
- el punzón del dispositivo 22 de conformado está en posición de reposo superior, y
- la matriz del dispositivo 22 de conformado está en posición de reposo inferior.

15 En una primera etapa, entre el estado inicial representado en la figura 2 y el primer estado intermedio representado en la figura 3, el bastidor 13 del dispositivo 12 de plegado y el del dispositivo 22 de conformado se desplazan hacia su posición delantera respectivamente a una velocidad V2 y V3, siendo dichas velocidades V2 y V3 iguales a la velocidad V1 de avance de la lámina 1 metálica. Aguas abajo de la instalación 9 de plegado, la lámina 1 metálica se desplaza a una velocidad V4 que también es igual a V1 en el estado inicial.

20 Además, el punzón 25 y la matriz 27 del dispositivo 22 de conformado se mueven respectivamente hacia su posición de conformado inferior y superior, mientras que el émbolo 15 y el bastidor auxiliar 18 inferior del dispositivo 12 de plegado se mueven respectivamente hacia su posición de plegado inferior y superior. El bastidor auxiliar 18 inferior del dispositivo 12 de plegado alcanza la posición de plegado superior antes o al mismo tiempo que el punzón 16 alcanza una posición intermedia representada en la figura 3 en la que entra en contacto con la lámina 1 metálica y, en consecuencia, comienza el plegado de la ondulación. Del mismo modo, la matriz 27 del dispositivo 22 de conformado alcanza la posición de conformado superior antes o al mismo tiempo que el punzón 16 alcanza una posición intermedia en la que entra en contacto con la lámina 1 metálica. Asimismo, el accionador 24 se controla de tal manera que la matriz 27 del dispositivo 22 confirmador llega a posicionarse frente a una ondulación formada de antemano por el dispositivo 9 plegador.

30 A partir del segundo estado representado en la figura 3, es decir a partir del momento en el que el punzón 16 alcanza la posición intermedia y comienza el plegado de la ondulación, y hasta que el punzón 16 ha alcanzado la posición de plegado inferior, tal y como se representa en la figura 5, el accionador 17 que mueve el punzón 16 del dispositivo 12 de plegado se mueve a una velocidad tal que la reducción de la dimensión de la lámina 1 metálica debido a la operación de plegado compensa el avance de la lámina 1 metálica. Por consiguiente, la velocidad de la lámina 1 metálica después del dispositivo 12 de plegado es nula.

35 En otras palabras, la velocidad de reducción de la dimensión de la lámina 1 metálica en la dirección de avance f es sustancialmente igual a la velocidad V1 de avance de la lámina 1 metálica. Por tanto, la velocidad del accionador que mueve el émbolo 15 se determina en función de la geometría de la sección del punzón 16 y de forma que se cumpla la siguiente ecuación:

40
$$\frac{dr}{dt} = V1;$$

donde

r representa la reducción de la dimensión de la lámina 1 metálica en la dirección de avance f durante la operación de plegado, y

t representa el tiempo.

45 Más concretamente, la velocidad V7 del movimiento vertical del accionador 17 puede determinarse de modo que:

la velocidad V7 está entre $0,95 \frac{V1}{2 \times (\frac{1}{\sin \alpha} - \frac{1}{\tan \alpha})}$ y $1,05 \frac{V1}{2 \times (\frac{1}{\sin \alpha} - \frac{1}{\tan \alpha})}$ inclusive y preferentemente igual a $\frac{V1}{2 \times (\frac{1}{\sin \alpha} - \frac{1}{\tan \alpha})}$ donde

α representa el ángulo formado entre uno de los lados de la sección sustancialmente triangular del punzón y un eje horizontal.

Además, a partir del primer estado intermedio representado en la figura 3 y hasta que el punzón 16 alcanza la posición de plegado inferior, la unidad 29 de control reduce la velocidad V2 de movimiento del bastidor 13 del dispositivo 12 de plegado. La nueva velocidad V2 del bastidor 13 del dispositivo 12 de plegado está comprendida entre $0,95 \times \frac{1}{2}V1$ y $1,05 \times \frac{1}{2}V1$ y corresponde sustancialmente a:

5
$$V2 = \frac{1}{2}V1$$

Partiendo de la hipótesis de que el dispositivo 12 de plegado no incluye un accionador dedicado para mover las matrices 20, 21 laterales, durante el plegado del mismo la lámina 1 metálica transmite una fuerza de tracción a las matrices 20, 21 laterales que las mueve desde su posición separada hacia su posición junta. La velocidad de movimiento de las matrices 20, 21 laterales con respecto al bastidor 13 del dispositivo 12 de plegado es igual a V2. Así, la velocidad absoluta V5 de la matriz 20 lateral trasera es sustancialmente igual a V1, mientras que la velocidad V6 absoluta de la matriz 21 lateral delantera es nula.

De acuerdo con otra realización en la que el dispositivo 12 de plegado incluye accionadores dedicados para mover las matrices 20, 21 laterales, el accionador de la guía 20 lateral se controla para mover dicha matriz 20 lateral hacia la parte delantera con respecto al bastidor 13 a una velocidad sustancialmente igual a V2, mientras que el accionador de la matriz 21 lateral se controla para mover dicha matriz 21 lateral con respecto al bastidor 13 a una velocidad sustancialmente igual a V2.

En el cuarto estado representado en la figura 5, el punzón del dispositivo 22 de conformado ha alcanzado la posición de conformado inferior.

Tan pronto como el punzón 16 del dispositivo 12 de plegado alcanza la posición de plegado inferior, tal como se representa en la figura 5, el bastidor 13 del dispositivo 12 de plegado y el del dispositivo 22 de conformado se desplazan de nuevo hacia su posición delantera a velocidades V2 y V3 que son iguales a la velocidad V1 de avance de la lámina 1 metálica.

Como se representa en la figura 6, el punzón 16 del dispositivo 12 de plegado y el punzón del dispositivo 22 de conformado se elevan hacia su posición superior de reposo antes de que el bastidor 13 del dispositivo 12 de plegado y el del dispositivo 22 de conformado alcancen su posición delantera. Por último, en un período final, el bastidor 13 del dispositivo 12 de plegado y el del dispositivo 22 de conformado se desplazan hacia atrás para volver a su posición trasera, tal como se representa en la figura 2. A continuación, puede realizarse un nuevo ciclo idéntico destinado a producir otra ondulación transversal adyacente.

Además, la instalación incluye un dispositivo de corte, no ilustrado, que permite cortar la lámina metálica a continuación del dispositivo 22 de conformado.

Aunque la invención se ha descrito con referencia a una pluralidad de realizaciones particulares, es obvio que no se limita en modo alguno a ellas y que abarca todos los equivalentes técnicos de los medios descritos y combinaciones de los mismos si éstos entran dentro del contexto de la invención.

El uso del verbo "incluir" o "comprender" y sus formas conjugadas no excluye la presencia de elementos o etapas distintos de los indicados en una reivindicación.

En las reivindicaciones, cualquier signo de referencia entre paréntesis no debe interpretarse como una limitación de la reivindicación.

REIVINDICACIONES

1. Una instalación (9) de plegado para formar ondulaciones transversales en una lámina (1) metálica, la instalación (9) de plegado incluye:

5 - un dispositivo (11) de accionamiento que hace avanzar la lámina (1) metálica horizontalmente desde atrás hacia delante en una dirección de avance, y

- un dispositivo (12) de plegado que incluye:

- un bastidor (13) montado para ser móvil paralelamente a la dirección de avance, entre una posición trasera y una posición delantera, estando dicho bastidor (13) asociado a un primer accionador (14) adaptado para mover dicho bastidor (13) entre la posición trasera y la posición delantera,

10 - un punzón (16) alargado en una dirección transversal ortogonal a la dirección de avance, y

- una unidad (29) de control que está configurada para controlar el primer accionador (14);

la instalación de plegado se caracteriza por que el punzón (16) se desplaza verticalmente sobre el bastidor (13) entre una posición de reposo y una posición de plegado en la que dicho punzón (16) deforma la lámina (1) metálica para formar una de las ondulaciones transversales, estando asociado el punzón (16) a un segundo accionador (17) adaptado para desplazar dicho punzón (16) entre la posición de reposo y la posición de plegado, y por que la unidad (29) de control está configurada para controlar el segundo accionador (17) y está configurado simultáneamente para mover el bastidor (13) del dispositivo (12) de plegado desde la posición trasera hacia la posición delantera y el punzón (16) desde la posición de reposo hacia la posición de plegado.

20 2. La instalación (9) de plegado según la reivindicación 1, en la que la unidad (29) de control está configurada para controlar el dispositivo (11) de accionamiento de manera que mueva la lámina (1) metálica desde la parte trasera hacia la parte delantera a una velocidad V_1 y en la que la unidad (29) de control está configurada para que:

- el segundo accionador (17) mueve el punzón (16) en la dirección de la posición de plegado a una velocidad V_7 comprendida entre $0,95 \frac{V_1}{2 \times (\frac{1}{\sin \alpha} - \frac{1}{\tan \alpha})}$ y $1,05 \frac{V_1}{2 \times (\frac{1}{\sin \alpha} - \frac{1}{\tan \alpha})}$ inclusive, donde

α representa el ángulo formado entre uno de los lados de la sección del punzón (17) y un eje horizontal.

25 3. La instalación de plegado (9) según la reivindicación 1 o 2, en la que la unidad (29) de control está configurada de modo que:

- el primer accionador (14) mueve el bastidor (13) del dispositivo (12) de plegado desde la posición trasera hacia la posición delantera a una velocidad V_2 que es igual a V_1 durante el movimiento del punzón (16) desde la posición de reposo hacia una posición intermedia en la que dicho punzón (16) entra en contacto con la lámina (1) metálica y que es inferior a V_1 durante el movimiento del punzón (16) desde la posición intermedia hacia la posición de plegado.

30 4. La instalación (9) de plegado según la reivindicación 3, en la que la unidad (29) de control está configurada para que el primer accionador (14) mueva el bastidor (13) del dispositivo (12) de plegado desde la posición trasera hacia la posición delantera a una velocidad V_2 que está comprendida entre $0,95 \times \frac{1}{2} V_1$ y $1,05 \times \frac{1}{2} V_1$ inclusive durante el movimiento del punzón (16) desde la posición intermedia hacia la posición de plegado.

35 5. La instalación (9) de plegado según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en la que la unidad (29) de control está configurada para que el primer accionador (14) continúe el movimiento del bastidor (13) hacia la posición delantera cuando el segundo accionador (17) mueve el punzón (16) desde la posición de plegado hacia la posición de reposo.

6. La instalación (9) de plegado según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en la que el dispositivo (12) de plegado incluye:

40 - un bastidor auxiliar (18) inferior montado para desplazarse verticalmente sobre el bastidor (13) del dispositivo (12) de plegado y dispuesto frente al punzón (16), estando dicho bastidor auxiliar (18) inferior asociado a un tercer accionador (19) adaptado para mover el bastidor auxiliar (18) inferior entre una posición de reposo y una posición de plegado, y

45 - dos matrices (20, 21) laterales cada una de las cuales tiene una superficie de apoyo superior destinada a recibir la lámina (1) metálica y una media impresión, estando las dos matrices (20, 21) laterales montadas para deslizarse horizontalmente sobre el bastidor auxiliar (18) inferior en una dirección paralela a la dirección de avance entre una posición separada y una posición junta en la que las medias impresiones forman juntas una impresión que tiene una forma complementaria a la del punzón (16).

7. La instalación (9) de plegado según la reivindicación 6, en la que la unidad (29) de control está configurada para que el tercer accionador (19) mueva el bastidor auxiliar (18) inferior desde la posición de reposo a la posición de plegado durante el movimiento del punzón (16) desde la posición de reposo hacia una posición intermedia en la que dicho punzón (16) entra en contacto con la lámina.
- 5 8. La instalación (9) de plegado según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, comprende además, a continuación del dispositivo (12) de plegado, un dispositivo (22) de conformado que está configurado para modificar una ondulación curvada de antemano mediante el dispositivo (12) de plegado.
9. La instalación (9) de plegado según la reivindicación 8, en la que el dispositivo (22) de conformado incluye:
- 10 - un bastidor (23) que está montado para ser móvil paralelamente a la dirección de avance entre una posición trasera y una posición delantera, estando dicho bastidor (23) asociado a un cuarto accionador (24) capaz de mover dicho bastidor (23) entre la posición trasera y la posición delantera, y
- 15 - un punzón (25) que está montado para ser móvil verticalmente sobre el bastidor (23) del dispositivo (22) de conformado entre una posición de reposo y una posición de conformado en la que dicho punzón deforma la lámina (1) metálica para modificar la forma de una ondulación transversal formada de antemano por el dispositivo (12) de plegado, estando el punzón (25) asociado a un quinto accionador (26) adaptado para mover dicho punzón (25) entre la posición de reposo y la posición de conformado.
10. La instalación (9) de plegado según la reivindicación 9, en la que la unidad (29) de control está configurada para controlar el cuarto accionador (24) y el quinto accionador (26).
- 20 11. La instalación (9) de plegado según la reivindicación 10, en la que la unidad (29) de control está configurada para controlar el dispositivo (11) de accionamiento de tal manera que la lámina (1) metálica avance desde la parte trasera hacia la parte delantera a una velocidad V1 y en la que la unidad (29) de control está configurada para que el cuarto accionador (24) mueva el bastidor (23) del dispositivo (22) de conformado desde la posición trasera hacia la posición delantera a una velocidad V3 que es igual a V1 durante el movimiento del punzón (16) del dispositivo (12) de conformado desde la posición de reposo hacia una posición intermedia en la que el punzón (16) del dispositivo de conformado entra en contacto con la lámina (1) metálica y que es cero durante el movimiento del punzón (16) del dispositivo (12) de conformado desde la posición intermedia hacia la posición de plegado.
- 25 12. Procedimiento de utilización de una instalación (9) de plegado según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, que comprende:
- 30 - controlando el primer accionador (14) y el segundo accionador (17) por medio de la unidad (29) de control de tal manera que muevan simultáneamente el bastidor (13) del dispositivo (12) de plegado desde la posición trasera hacia la posición delantera y el punzón (16) desde la posición de reposo hacia la posición de plegado.
13. El procedimiento según la reivindicación 12, en el que el segundo accionador se controla de modo que:
- el segundo accionador (17) mueve el punzón (16) en la dirección de la posición de plegado a una velocidad V7 comprendida entre $0,95 \frac{V1}{2 \times \left(\frac{1}{\sin \alpha} - \frac{1}{\tan \alpha} \right)}$ y $1,05 \frac{V1}{2 \times \left(\frac{1}{\sin \alpha} - \frac{1}{\tan \alpha} \right)}$ donde
- 35 α representa el ángulo formado entre uno de los lados de la sección del punzón (17) y un eje horizontal.
14. El procedimiento según la reivindicación 12 o 13, en el que el primer accionador (14) se controla de tal manera que mueva el bastidor (13) del dispositivo (12) de plegado desde la posición trasera hacia la posición delantera a una velocidad comprendida entre $0,95 \times \frac{1}{2} V1$ y $1,05 \times \frac{1}{2} V1$ inclusive durante el movimiento del punzón (16) desde una posición intermedia en la que el punzón (16) del dispositivo (12) de plegado entra en contacto con la lámina (1) metálica hacia la posición de plegado.
- 40 15. El procedimiento según se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones 12 a 14, en el que el primer accionador (14) y el segundo accionador (17) se controlan de tal manera que continúan el movimiento del bastidor (13) hacia la posición delantera durante el movimiento del punzón (16) desde la posición de plegado hacia la posición de reposo.
16. El procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 12 a 15, en el que la instalación (9) de plegado incluye además, aguas abajo del dispositivo (12) de plegado, un dispositivo (22) de conformado que está configurado para modificar una ondulación doblada de antemano mediante el dispositivo (12) de plegado, incluyendo el dispositivo (22) de conformado:
- 45 - un bastidor (23) que está montado para ser móvil paralelamente a la dirección de avance entre una posición trasera y una posición delantera, estando dicho bastidor (23) asociado a un cuarto accionador (24) adaptado para mover dicho bastidor (23) entre la posición trasera y la posición delantera, y
- 50

5 - un punzón (25) que está montado para ser móvil verticalmente sobre el bastidor (23) del dispositivo (22) de conformado entre una posición de reposo y una posición de conformado en la que dicho punzón (25) deforma la lámina (1) metálica para modificar la forma de una ondulación transversal formada previamente por el dispositivo (12) de plegado, estando asociado dicho punzón (25) a un quinto accionador (26) adaptado para mover dicho punzón entre la posición de reposo y la posición de plegado,

10 y en el que el cuarto accionador (24) está controlado de tal manera que mueve el bastidor (23) del dispositivo (22) de conformado desde la posición trasera hacia la posición delantera a una velocidad $V3$ que es igual a $V1$ durante el movimiento del punzón (16) del dispositivo (12) de plegado desde la posición de reposo hacia una posición intermedia en la que el punzón (16) del dispositivo (12) de plegado entra en contacto con la lámina (1) metálica y que es igual a cero durante el movimiento del punzón (16) del dispositivo (12) de plegado desde una posición intermedia en la que el punzón (16) del dispositivo (12) de plegado entra en contacto con la lámina (1) metálica hacia la posición de plegado.

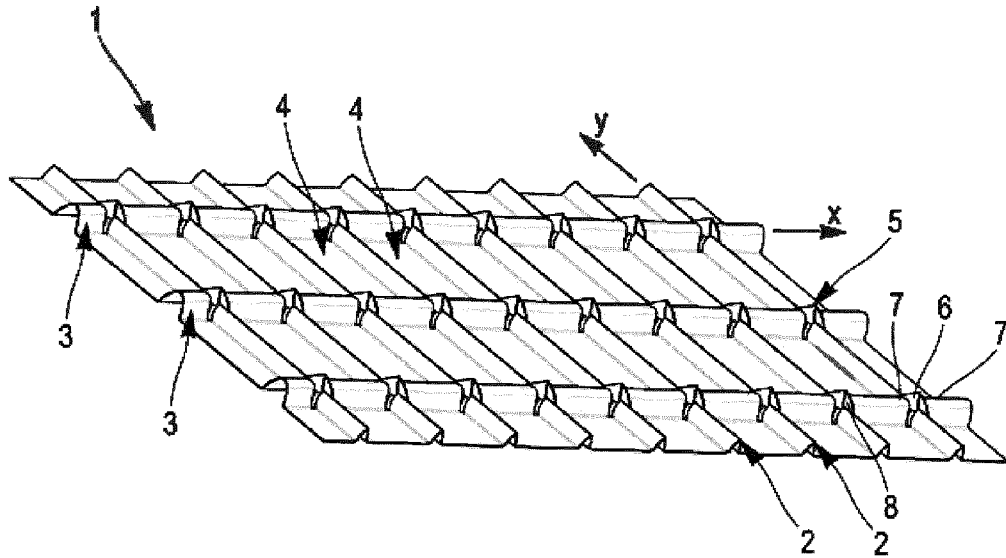
Resumen

15 La invención se refiere a una instalación de plegado para formar ondulaciones transversales en una lámina metálica, la instalación (9) de plegado comprende:

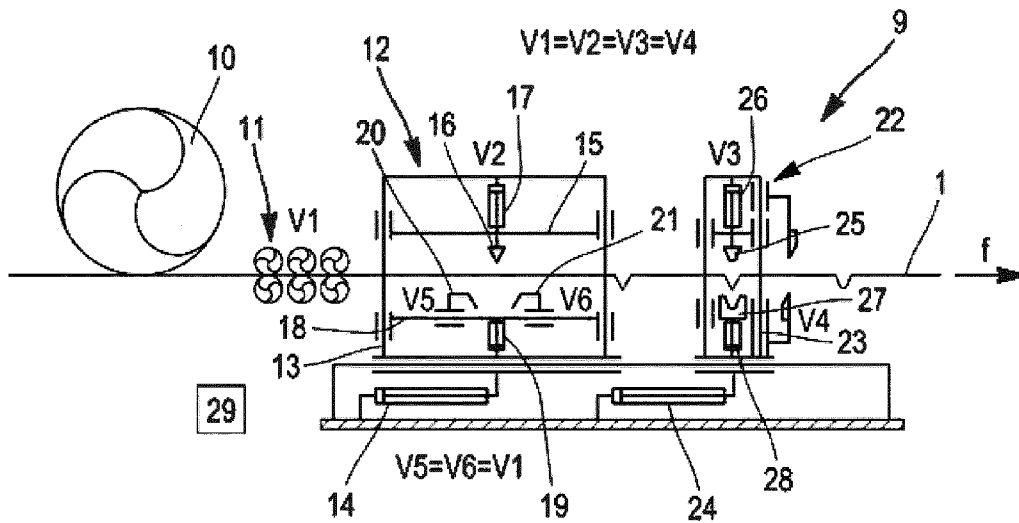
- un dispositivo (11) de accionamiento que hace avanzar la lámina (1) metálica, y - un dispositivo (12) de plegado que comprende:

20 - un bastidor (13) desplazable paralelamente a la dirección de avance entre una posición trasera y una posición delantera mediante un primer accionador, y - un punzón (16) desplazable verticalmente sobre el bastidor (13) entre una posición de reposo y una posición de plegado mediante un segundo accionador (17), y - una unidad (29) de control que está configurada para controlar el primer accionador (14) y el segundo accionador (17) y está configurada simultáneamente para mover el bastidor (13) del dispositivo (12) de plegado desde la posición trasera a la posición delantera y el punzón (16) desde la posición de reposo a la posición de plegado.

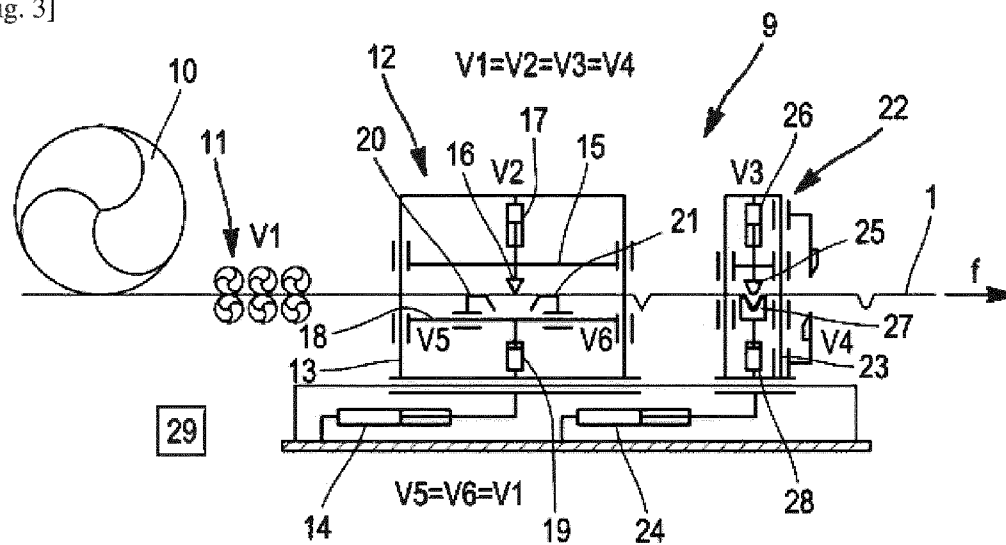
[Fig. 1]



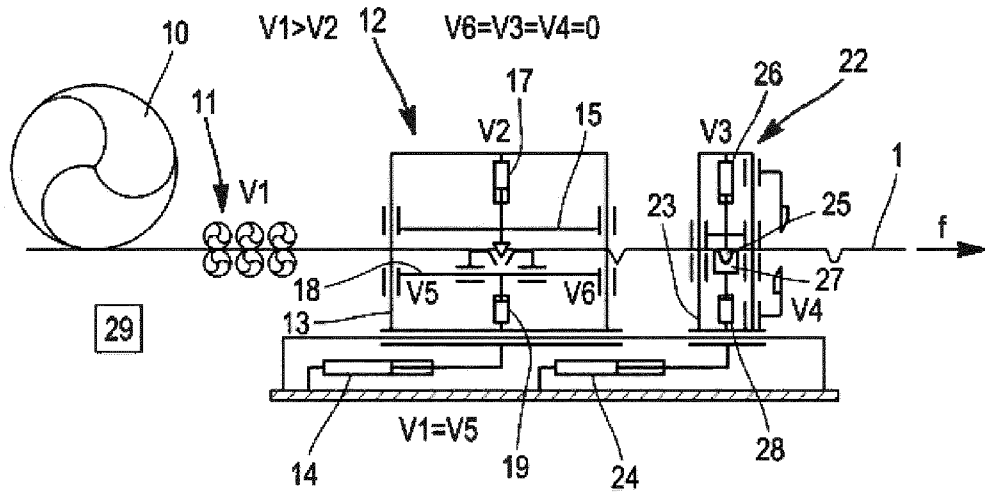
[Fig. 2]



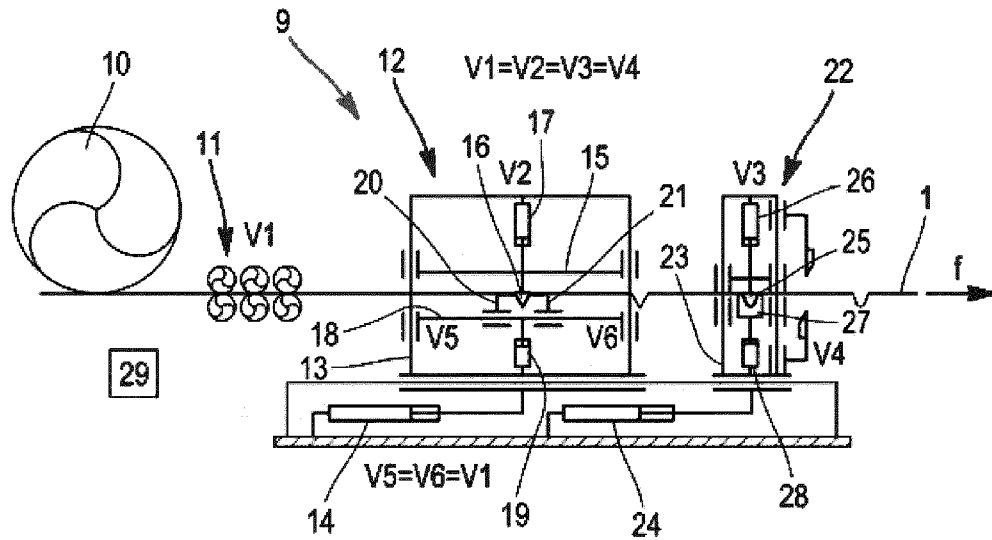
[Fig. 3]



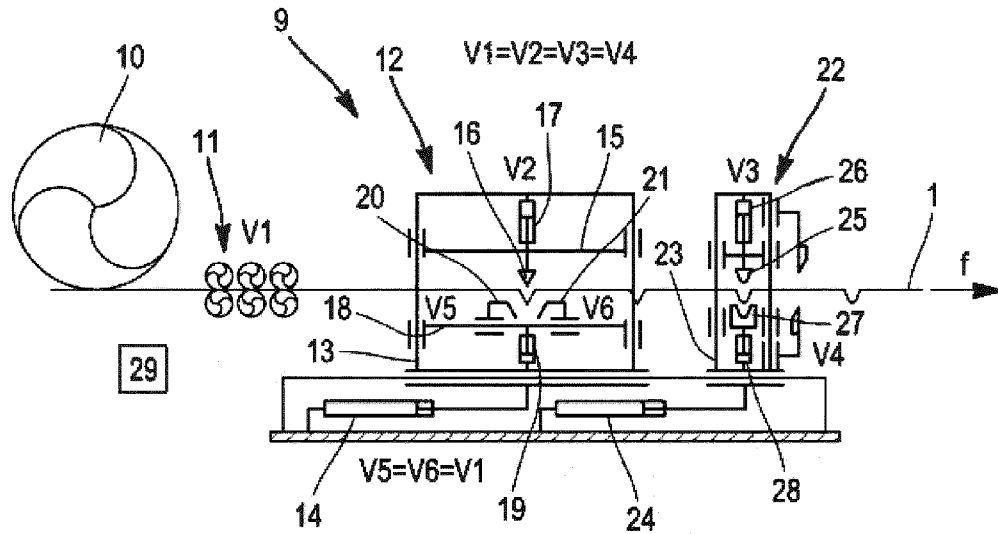
[Fig. 4]



[Fig. 5]



[Fig. 6]



[Fig. 7]

