

GEOCELDA PERFORADA

REFERENCIA CRUZADA A SOLICITUDES RELACIONADAS

[0001] Esta solicitud reclama prioridad a la Solicitud de Patente Provisional de los Estados Unidos Serie n.º 61/931,848, presentada el 27 de enero de 2014. Esta solicitud se incorpora aquí por referencia en su totalidad.

ARTE PREVIO

[0002] La presente divulgación se refiere a geoceldas perforadas que tienen una tendencia reducida a deformarse cuando se someten a carga durante el servicio. Se describen igualmente aquí varios sistemas que emplean tales geoceldas.

[0003] Una geocelda (también conocida como un sistema de confinamiento celular (CCS - *cellular confinement system*)) es un producto geosintético tridimensional diseñado originalmente por el Cuerpo de Ingenieros Militares de los Estados Unidos (ACE - *Army Corps of Engineers*) para despliegue rápido de tropas en dunas arenosas, las cuales no podrían soportar generalmente la carga de vehículos pesados (v.g., camiones, tanques, etc). Una geocelda es un arreglo de celdas de contención semejantes a una estructura de “panal” que pueden llenarse con relleno, el cual puede ser tierra no cohesionada (*cohesionless soil*), arena, gravilla, balasto, o cualquier otro tipo de agregado. El confinamiento se provee en todas direcciones, y vectores de fuerzas internas actúan dentro de cada celda contra todas las paredes. Las geoceldas se utilizan en aplicaciones de ingeniería civil para prevenir la erosión o proporcionar apoyo lateral, tal como muros de contención para suelos; alternativas para muros de sacos de arena o muros de gravedad; para cimientos de carreteras, pavimentos, y ferrocarriles; y para el revestimiento de canales. Las geoceldas brindan asimismo un reforzamiento eficiente para rellenos relativamente finos, tales como arena, marga, y desechos de canteras.

[0004] Usualmente las geoceldas son perforadas, con orificios taladrados o troquelados en las paredes de las celdas. Las perforaciones ofrecen una fricción mejorada con el relleno, y contribuyen igualmente con el drenaje. Por ejemplo, las Patentes de los Estados Unidos n.º 6,296,924 y 6,395,372 ilustran el uso de

perforaciones que se aplican en dos o cuatro “bloques” o grupos distintos, y los cuales se separan por “cinturones” no perforados, que supuestamente ayudan a mantener una suficiente rigidez de las paredes, así como a separar las perforaciones de las áreas en donde ocurrirá la soldadura. **FIG. 1** es una copia de Figura 2 de la Patente de los Estados Unidos n.º 6,395,372. Aquí, se observan cuatro grupos de perforaciones, separadas por cinturones en las áreas identificadas como D3 y D6. Esta distribución irregular de las perforaciones produce un debilitamiento de las áreas perforadas en comparación con los cinturones no perforados, y tiene como resultado un debilitamiento general de la pared de celda. Esto puede ocasionar la falla prematura de la geocelda con cargas mucho menores que las designadas.

[0005] Sería deseable proporcionar geoceldas perforadas que tengan una distribución mejorada del esfuerzo y la deformación sobre toda la pared de celda, una mejor respuesta a las cargas debidas a una deformación uniforme sobre la tira completa, una resistencia potenciada debida a la evitación de “bloques” debilitados, y que impida la distribución desigual de esfuerzos.

BREVE DESCRIPCIÓN

[0006] La presente divulgación se refiere a una geocelda cuyas paredes de celda tienen perforaciones ordenadas en distintos patrones. Estos patrones ofrecen las ventajas de las perforaciones y facilitan una distribución más uniforme, menos desigual, de los esfuerzos a través de la pared de celda. Esto reduce la deformación irregular local durante el servicio (es decir, el uso) e incrementa la carga promedio que puede manejarse por la geocelda.

[0007] En varias modalidades se divulga una geocelda formada por una pluralidad de tiras poliméricas, tiras adyacentes que se adhieren entre sí a lo largo de líneas de soldadura para formar una pluralidad de celdas que tienen paredes de celda cuando se alargan en una dirección perpendicular a las caras de las tiras; en donde por lo menos una tira contiene una pared de celda que tiene una primera costura de borde, una segunda costura de borde, una costura central, y una pluralidad de perforaciones que tienen un diámetro de desde alrededor de 7 mm a alrededor de 30 mm; y en donde las perforaciones se ordenan en un patrón único de manera que cualquier cinta que tiene

un ancho de 40 mm y una longitud igual y paralela a la primera costura de borde tendrán por lo menos una perforación.

[0008] Las perforaciones pueden tener un diámetro desde alrededor de 7 mm a alrededor de 15 mm. En modalidades particulares, las perforaciones son circulares y tienen un diámetro desde alrededor de 7 mm a alrededor de 15 mm. En otras modalidades, las perforaciones son no circulares y tienen un área igual a un círculo que tiene un diámetro desde alrededor de 7 mm a alrededor de 30 mm.

[0009] En algunas modalidades, el patrón de perforación es tal que cuando la pared de celda se somete a carga en modo de tensión con una carga de 6,0 kilonewtons (kN)/metro hasta que la tira aumenta en longitud en 12%, el incremento en diámetro de la perforación en la dirección de esfuerzo (promedio de por lo menos 3 perforaciones en la línea más afectada) es como máximo 15%. La carga se mide en la dirección de esfuerzo. Por ejemplo, si la tira tiene una longitud inicial de 100 cm y aumenta luego a 112 cm (es decir, un incremento del 12%), entonces una perforación en la tira que tiene a diámetro inicial de 10 mm puede aumentar a un máximo de 11,5 mm (un incremento de 15%).

[0010] En varias modalidades, las tiras tienen un espesor de pared de 0,25 mm a 1,7 mm. En otras modalidades, las tiras tienen un espesor de pared de 0,5 mm a 1,35 mm. Las paredes de celda de la geocelda pueden ser texturizadas o lisas. Se anota que la textura de la pared de celda puede ser la misma a ambos lados, o puede ser diferente entre los dos lados.

[0011] La distancia entre la primera costura de borde y la segunda costura de borde en un estado no expandido puede ser por lo menos 250 mm. En ocasiones, el área total de las perforaciones en la pared de celda perforada es desde alrededor de 5% a alrededor de 18% del área de la pared de celda perforada.

[0012] En diferentes modalidades se divulga asimismo una geocelda formada de una pluralidad de tiras poliméricas, tiras adyacentes que se adhieren entre sí a lo largo de líneas de soldadura para formar una pluralidad de celdas que tienen paredes de celda cuando se alargan en una dirección perpendicular a las caras de las tiras; en donde por lo menos una tira contiene una pared de celda que tiene una primera costura de borde, una segunda costura de borde, una costura central, y una pluralidad de

perforaciones que tienen un diámetro de desde alrededor de 7 mm a alrededor de 30 mm; y en donde las perforaciones se ordenan en un patrón único de manera que cualquier cinta que tiene un ancho de 40 mm y una longitud igual y paralela a la primera costura de borde tendrá por lo menos una perforación; y en donde las perforaciones más próximas a la primera costura de borde se distancian de la primera costura de borde por una distancia de borde, según se mide desde el centro de las perforaciones.

[0013] La distancia de borde puede ser desde 0 mm a 30 mm. La distancia entre perforaciones adyacentes puede ser desde 1 veces la distancia de borde a 5 veces la distancia de borde. En ocasiones, la distancia de borde es 35 mm o menos.

[0014] Estas y otras modalidades se describen con más detalle a continuación.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

[0015] La siguiente es una breve descripción de los dibujos, los cuales se presentan para los propósitos de ilustrar las modalidades ejemplares divulgadas aquí y no para los propósitos de limitarlas.

[0016] **FIG. 1** es una copia de la Figura 2 de la Patente de los Estados Unidos n.º 6,395,372, que muestra una pared de celda de una geocelda con cuatro grupos de perforaciones y dos cinturones no perforados.

[0017] **FIG. 2** es una vista en perspectiva de una geocelda de la presente divulgación en su estado expandido.

[0018] **FIG. 3** es una vista en perspectiva en primer plano de una tira polimérica de la presente divulgación usada para fabricar la geocelda perforada.

[0019] **FIG. 4** es una vista en planta de una primera pared de celda ejemplar de la presente divulgación, que muestra un patrón único de perforaciones a través de la pared de celda.

[0020] **FIG. 5** es una segunda vista en planta de la primera pared de celda ejemplar de la presente divulgación, que muestra diferentes características del patrón de perforaciones.

[0021] **FIG. 6** es una vista en planta de otra pared de celda ejemplar de la presente divulgación.

[0022] FIG. 7 es una vista en planta de otra pared de celda ejemplar de la presente divulgación.

[0023] FIG. 8 es una vista en planta de otra pared de celda ejemplar de la presente divulgación.

[0024] FIG. 9 es una vista en planta de otra pared de celda ejemplar de la presente divulgación.

[0025] FIG. 10 es una vista en planta de otra pared de celda ejemplar de la presente divulgación.

[0026] FIG. 11 es una fotografía de una geocelda del arte previo antes de los ensayos de tensión.

[0027] FIG. 12 es una fotografía de la geocelda del arte previo después de los ensayos de tensión, que muestra deformación en las áreas perforadas.

[0028] FIG. 13 es una fotografía de una geocelda perforada de la presente divulgación después de los ensayos de tensión, que muestra ruptura a lo largo de la costura en lugar de en el área perforada.

[0029] FIG. 14 es una fotografía de una tira de una geocelda de la presente divulgación antes (lado izquierdo) y después (lado derecho) de los ensayos de tensión.

[0030] FIG. 15 es una fotografía que muestra tres tiras que tienen diferentes patrones de perforación, después de la carga de tensión, siendo dos tiras del arte previo y siendo una tira de la presente divulgación.

[0031] FIG. 16 es una fotografía que muestra una de las tiras de FIG. 15 en un aparato de ensayo de carga de tensión según ASTM D6992.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

[0032] Un entendimiento más completo de los componentes, procesos y aparatos divulgados aquí puede obtenerse por referencia a los dibujos acompañantes. Estas figuras son meramente representaciones esquemáticas basadas en la conveniencia y la facilidad de demostrar la presente divulgación y, por consiguiente, no pretenden indicar tamaños relativos y dimensiones de los dispositivos o sus componentes y/o definir o limitar el ámbito de las modalidades ejemplares.

[0033] Aunque en la siguiente descripción, por razones de claridad, se utilizan términos específicos, estos términos no pretenden referirse únicamente a la estructura particular de las modalidades seleccionadas para ilustración en los dibujos, y no pretenden definir o limitar el ámbito de la divulgación. En los dibujos y en la siguiente descripción incluida a continuación, hay que entender que designaciones numéricas iguales se refieren a componentes de igual función.

[0034] Las formas del singular "un/una" "uno/una," y "el/la" incluyen referentes del plural, a menos que el contexto estipule claramente lo contrario.

[0035] Los valores numéricos en el capítulo descriptivo y las reivindicaciones de esta solicitud deben entenderse como incluyendo los valores numéricos que son los mismos cuando se reducen al mismo número de figuras significativas y los valores numéricos que difieren del valor establecido en menos del error experimental de una técnica de medición convencional del tipo descrito en la presente solicitud para determinar el valor.

[0036] Todos los intervalos divulgados aquí son inclusivos del límite recitado e independientemente combinables (por ejemplo, el intervalo de "desde 2 mm a 10 mm" es inclusivo de los límites, 2 mm y 10 mm, y todos los valores intermedios).

[0037] Un valor modificado por un término o términos, tales como "alrededor de" y "sustancialmente," puede no estar limitado al valor preciso especificado. El calificativo "alrededor de" debe considerarse igualmente como divulgando el intervalo definido por los valores absolutos de los dos límites. Por ejemplo, la expresión "desde alrededor de 2 a alrededor de 4" divulga asimismo el intervalo "desde 2 a 4."

[0038] En síntesis, la presente divulgación se refiere al uso de geoceldas, no de geomallas (*geogrids*). Una geocelda es un arreglo tridimensional de celdas de contención, semejante a una estructura de "panal" que se llena con un relleno, con vectores de fuerzas internas actuando dentro de cada celda. Una geomalla es una estructura bidimensional formada de una red de nervaduras dispuestas para conformar orificios, la cual se usa para proporcionar un reforzamiento de tensión biaxial al suelo. Una geomalla tiene una estructura plana uniforme (*a flat planar structure*), y carece de una altura efectiva. Una geocelda y una geomalla pueden distinguirse por su altura/espesor vertical. Una geocelda tiene un espesor vertical de por lo menos 20 mm,

mientras que una geomalla tiene un espesor vertical de desde alrededor de 0,5 mm a 2 mm.

[0039] **FIG. 2** es una vista en perspectiva de una geocelda perforada de la presente divulgación en su estado expandido. La geocelda **10** comprende una pluralidad de tiras poliméricas **14**. Tiras adyacentes se adhieren entre sí a lo largo de costuras físicas discretas **16**. La adhesión puede llevarse a cabo por pegado, costura o soldadura, pero generalmente se hace mediante soldadura (v.g., soldadura ultrasónica). La porción de cada tira entre dos costuras **16** forma una pared de celda **18** de una celda individual **20**. Cada celda **20** tiene paredes de celda hechas de dos tiras poliméricas diferentes. Las tiras **14** se adhieren entre sí de manera que, cuando se expanden, se forme un patrón de panal de la pluralidad de tiras. Por ejemplo, la tira externa **22** y la tira interna **24** se adhieren entre sí en costuras **16** las cuales se distancian regularmente en toda la longitud de las tiras **22** y **24**. Un par de tiras internas **24** se adhieren entre sí a lo largo de las costuras **32**. Cada costura **32** está entre dos costuras **16**. Como resultado, cuando la pluralidad de tiras **14** se alarga o se expande en una dirección perpendicular a las caras de las tiras, las tiras se doblan en una manera sinusoidal para formar la geocelda **10**. En el borde de la geocelda donde coinciden los extremos de dos tiras poliméricas **22**, **24**, se hace una soldadura final **26** (también considerada una junta) a una corta distancia del extremo **28** para formar una cola corta **30** que estabiliza las dos tiras poliméricas **22**, **24**. Esta geocelda puede designarse igualmente como una sección, particularmente cuando se combina con otras geoceldas sobre un área mayor de la que podría cubrirse prácticamente por una sola sección. Cada pared de celda tiene perforaciones **50** que conectan el interior de cada celda al exterior de cada celda. Las perforaciones se extienden enteramente a través de la pared de celda.

[0040] **FIG. 3** es una vista en perspectiva en primer plano de una tira polimérica **14** que muestra la longitud **40**, la altura **42**, y el ancho **44**, con una costura **16** ilustrada para referencia. Esta no es una vista de una pared de celda, sino de una tira polimérica. La longitud **40**, la altura **42**, y el ancho **44** se miden en la dirección indicada. La longitud se mide cuando la geocelda está en su estado doblado o comprimido. En el estado comprimido, se puede considerar que cada celda **20** no tiene volumen, mientras que el estado expandido se refiere generalmente a cuando la geocelda se ha

expandido a su capacidad máxima posible. En modalidades, la altura de la geocelda **43** es desde alrededor de 50 milímetros (mm) a alrededor de 300 mm. El tamaño de celda de la geocelda (medido como la distancia entre costuras en el estado no doblado) puede ser desde alrededor de 200 mm a alrededor de 600 mm y, en modalidades más particulares, desde alrededor de 300 mm a alrededor de 400 mm. El espesor de pared **44** puede ser desde 0,25 mm a 1,7 mm, incluyendo desde 0,3 mm a 1,5 mm, o desde 0,5 mm a 1,35 mm, o desde 0,4 mm a 1,2 mm. Igualmente pueden verse aquí las perforaciones **50**. Las paredes de celda pueden ser asimismo texturizadas o lisas.

[0041] Las geoceldas (y las tiras poliméricas) pueden fabricarse de polietileno (PE), polietileno de densidad media (MDPE) y/o polietileno de alta densidad (HDPE), polipropileno (PP), o de otras combinaciones poliméricas, por ejemplo una mezcla de polietileno y una poliamida. Las tiras se sueldan entre sí en una manera corrida (*in an offset manner*), con la distancia entre las costuras soldadas de una celda dada siendo desde alrededor de 200 mm a alrededor de 600 mm, incluyendo por lo menos 250 mm.

[0042] Con referencia nuevamente a **FIG. 1** del arte previo, las perforaciones ilustradas aquí no están distribuidas uniformemente a través de la pared de celda. En su lugar, las perforaciones se ponen en cuatro grupos, uno en cada cuadrante, con más de un cinturón no perforado separando los grupos de perforaciones. En particular, el cinturón identificado como D3 está presente en esta geocelda del arte previo para evitar el riesgo de una perforación en esta área que se soldará a otras tiras. En esta figura, D2 es 0,8125 pulgadas (20,6 mm), D3 es 1,6250 pulgadas (41,3 mm), D4 es 0,75 pulgadas (19,1 mm), D5 es 0,75 pulgadas (19,1 mm), D6 es 0,6250 pulgadas (15,9 mm), D8 es 13 pulgadas (330,2 mm), D13 es 8 pulgadas (203,2 mm), y D1 está entre 3 mm y 17 mm.

[0043] Las perforaciones están previstas para facilitar la fricción entre la pared de celda y el relleno, así como el drenaje. Grandes áreas no perforadas tendrán una fricción menor y, por consiguiente, un confinamiento más deficiente del relleno dentro de la pared de celda. Una distribución desigual de las perforaciones afecta negativamente el desempeño, especialmente en aplicaciones exigentes, tales como soporte de cargas, pistas de aterrizaje, canales, parques de estacionamiento, pisos industriales, ferrocarriles y muros. Las celdas con una distribución desigual de las

perforaciones tienden a deformarse y a perder su confinamiento con cargas mucho menores que las designadas y las fallas ocurren mucho más pronto. Igualmente las áreas perforadas están sometidas a mayores deformaciones con cargas promedio relativamente bajas porque el esfuerzo se concentra en porciones más pequeñas de la pared de celda. Esto reduce la carga que la geocelda puede absorber, cuando las perforaciones se distribuyen desigualmente a través de la pared de celda.

[0044] En términos generales, las geoceldas perforadas de la presente divulgación tienen perforaciones ordenadas en un patrón con el fin de satisfacer por lo menos uno de dos ensayos diferentes. En el primer ensayo, por lo menos una de las tiras usadas para formar la geocelda contiene perforaciones dispuestas en un patrón tal que, en una pared de celda, cualquier cinta que tenga una longitud paralela a las costuras de borde de la tira y un ancho de 40 mm tendrá por lo menos una perforación. La cinta tendrá una perforación completa, no solamente una porción de una perforación o, dicho de otro modo, la perforación no se extenderá a través de una frontera de la cinta, o una frontera no pasará a través de la perforación. En el segundo ensayo, una pared de celda de la geocelda incluye un patrón de perforaciones tal que, cuando la pared de celda se somete a carga en modo de tensión con una carga de 6,0 kN/m para espesores de pared de 1,2 mm a 1,5 mm o 0,4 kN/m para espesores de pared de 1,0 mm a 1,2 mm hasta que la tira aumenta en longitud en 12%, el incremento en el diámetro de perforación en la dirección de esfuerzo (promedio de por lo menos 3 perforaciones en la línea más afectada) es como máximo 15%. La medición se toma en la línea de perforaciones más afectada por el esfuerzo, y el valor del aumento en el diámetro de la perforación es un promedio de por lo menos 3 perforaciones en esa línea. Más específicamente, si la pared de celda se carga en modo de tensión con una carga de 6,0 kN/m para espesores de pared de 1,2 mm a 1,5 mm o 0,4 kN/m para espesores de pared de 1,0 mm a 1,2 mm a 23°C, hasta que la tira haya aumentado su longitud en 12%, y se toman entonces las mediciones, el incremento en el diámetro de perforación en la dirección de esfuerzo (promedio de por lo menos 3 perforaciones en la línea más afectada) es como máximo 15%. El segundo ensayo se lleva a cabo usando las máquinas y los métodos de ensayo descritos en ASTM D4595-05 o ISO 10319:2008, modificados apropiadamente para uso con una tira de ensayo.

Generalmente, la tira de ensayo se toma de una pared de celda. La tira de la pared de celda, que se somete a ensayo, tiene una longitud que es la distancia entre las costuras de borde de la pared de celda, y tiene un ancho que es igual a la altura de la celda (véase **FIG. 4** para referencia). La carga se aplica perpendicular a las costuras de borde.

[0045] La tira de ensayo se describe ahora con más detalle. Se toma una tira de una pared de celda, tira que corre desde una primera costura de borde a una segunda costura de borde. Para tiras que tienen un espesor de pared de 1 mm a 1,2 mm, la tira se carga a 4 kN/m, y para tiras que tienen un espesor de pared de 1,2 mm a 1,5 mm, la tira se carga a 6,0 kN/m. Se permite que la tira se deforme hasta que su longitud se extiende a 112% de la longitud original.

[0046] A continuación se libera la carga de la tira, y la tira se lleva a temperatura ambiente, y se permite que la tira se relaje durante 15 minutos. Se mide el aumento en la longitud de la tira. A renglón seguido se miden los diámetros de las tres perforaciones más afectadas en la dirección de esfuerzo, y se promedian, y este diámetro incrementado dividido por el diámetro original se denomina el aumento de la perforación (PD). Si PD es 115% o menos, entonces se ha satisfecho el segundo ensayo descrito más arriba.

[0047] Las geoceldas perforadas de la presente divulgación distribuyen su esfuerzo más uniformemente, de manera que la carga puede incrementarse con relación con el arte previo, pero se deformará sin cedencia plástica local (*local plastic yielding*) de la pared de celda. Por el contrario, alguna porción de la pared de celda de las geoceldas del arte previo se deformará plásticamente (usualmente el área más perforada) bajo una carga igual. La deformación plástica puede llevar a una ruptura de cedencia gradual y a una falla catastrófica prematura. Cuando las geoceldas fallan, generalmente lo hacen a lo largo de las costuras, sin deformación de las perforaciones y la pared de celda.

[0048] Estas geoceldas son útiles en aplicaciones tales como reforzamiento de carreteras, pavimentos, ferrocarriles, parques de estacionamiento; revestimientos en canales, estanques, reservorios, rellenos sanitarios, represas, barreras, terrazas; y muros de contención.

[0049] **FIGs. 4-10** muestran paredes de celda que están contempladas por la presente divulgación. Generalmente, estas paredes de celda tienen un patrón de perforación único donde las perforaciones se distribuyen con el fin de reducir la deformación. Cada cinta, que se corta paralela a la costura de borde y tiene un ancho de 40 mm, tendrá por lo menos una perforación. Se anota que esta cinta tendrá una perforación completa, no solamente una porción de una perforación. Se anota que, en estas figuras, las perforaciones se muestran como círculos y se designan como tales, aunque las perforaciones pueden ser igualmente de una forma no circular. Estas paredes de celda aprobarán asimismo los ensayos segundo y tercero mencionados más arriba (es decir, relacionados con la deformación de la pared de celda).

[0050] **FIG. 4** es una vista en planta que muestra un ejemplo de una pared de celda **400** de la presente divulgación, en la que las perforaciones se ordenan en un patrón único a través de la pared de celda. La pared de celda se define por una primera costura de borde **402** y una segunda costura de borde **404** en sus lados. Estas dos costuras se soldarían a una tira polimérica para formar la celda, y corresponden a la “altura” de la geocelda. Una costura central **410** está asimismo presente en el centro de la pared de celda, que se soldaría a una tira polimérica diferente de las dos costuras de borde (véase **FIG. 2** para aclaración). Un borde superior **406** corre desde el extremo superior de la primera costura de borde al extremo superior de la segunda costura de borde, y define la parte superior de la celda. Un borde inferior **408** corre desde el extremo inferior de la primera costura de borde al extremo inferior de la segunda costura de borde, y define la base de la celda. La pared de celda **400** tiene una longitud de 222,5 mm en cada dirección desde la costura central, y una longitud total **412** de 445 mm. La pared de celda tiene también una altura total **414** de 200 mm.

[0051] Un patrón único de perforaciones **420** está presente en la pared de celda en **FIG. 4**. En un “patrón”, la totalidad de las perforaciones se ordenan en una serie de por lo menos tres líneas laterales adyacentes que son paralelas entre sí, cada línea lateral teniendo una pluralidad de perforaciones. En cada línea lateral, se mantiene una distancia constante entre todas las perforaciones adyacentes. Adicionalmente, se mantiene una distancia constante entre todas las líneas laterales adyacentes.

[0052] Esta definición de un “patrón” puede entenderse mejor por referencia a **FIG. 4**. **FIG. 4** contiene un total de 22 líneas laterales, como se indica por los numerales de referencia **430**, **432**, **434**. En cada línea lateral, se mantiene una distancia constante **435** entre todas las perforaciones adyacentes, según se mide desde el centro de las perforaciones. Las líneas laterales adyacentes **432**, **434** se escalonan en relación mutua. Esto tiene como resultado una distancia lateral **437** entre los centros de las perforaciones escalonadas adyacentes (es decir, en diferentes líneas laterales). Dicho de otro modo, los numerales de referencia **430**, **432**, **434** designan tres conjuntos diferentes de líneas laterales. Hay una distancia vertical **439** entre líneas laterales que tienen sus perforaciones extremas en una línea vertical paralela, y una distancia constante **433** entre líneas laterales adyacentes.

[0053] El término “único” se refiere al hecho de que hay solamente un patrón en toda la pared de celda. Por lo menos una de las líneas laterales se extiende a través de la totalidad de la pared de celda, de manera que las dos perforaciones extremas de la línea lateral están dentro de una distancia de borde **a** de las costuras de borde, la distancia de borde siendo un máximo de 35 mm. El patrón de **FIG. 4** se considera un patrón único porque dos de las líneas laterales (numeral de referencia **430**) se extienden a través de la totalidad de la pared de celda. En este aspecto, las líneas laterales **430** incluyen perforaciones **421**, que se localizan más cerca de la costura central **410** que las perforaciones en las líneas laterales **432**, **434**.

[0054] Debe anotarse que en las varias modalidades descritas aquí, los dos conjuntos de líneas laterales **432**, **434** no se extienden a través de la costura central **410**. Únicamente el conjunto de líneas laterales **430** se extiende a través de la costura central **410**. Generalmente, la mitad de las líneas laterales **432** están en un lado de la costura central **410**, y la otra mitad de las líneas laterales **432** están en el otro lado de la costura central. Esto se ilustrará con mayor detalle aquí.

[0055] Las perforaciones más próximas a cada costura de borde se localizan generalmente a alrededor de la misma distancia de la costura de borde. La línea vertical formada por el punto de cada perforación más próxima a la costura de borde se designará aquí como una línea de perímetro vertical, y una línea de perímetro vertical semejante se indica aquí con el numeral de referencia **440**. La distancia de borde entre

la costura de borde **404** y la línea de perímetro vertical **440** se marca con la letra de referencia **a**. Debido a tolerancias de fabricación, esta distancia de borde **a** debe medirse como la distancia promedio desde cada perforación en la línea de perímetro vertical. Por ejemplo, en **FIG. 4** hay 12 perforaciones diferentes (seis cerca de la primera costura de borde **402**, y seis cerca de la segunda costura de borde **404**), y sus distancias deben promediarse. En modalidades, la distancia de borde **a** puede ser desde 0 mm a 35 mm. En modalidades más específicas, la distancia de borde **a** es desde 10 mm a 30 mm.

[0056] Se observa asimismo una distancia **b1**, que es la distancia vertical entre perforaciones adyacentes (en la misma línea vertical). La distancia **b2** es la distancia horizontal entre perforaciones adyacentes (en la misma línea horizontal). Debe anotarse que las distancias **a**, **b1**, y **b2** son las distancias entre los perímetros de las perforaciones, no los centros de las perforaciones como se miden algunas de las otras distancias. En algunas modalidades, las dos distancias **b1**, **b2** son cada una independientemente desde 1 veces la distancia de borde **a** a 5 veces la distancia de borde **a**. En modalidades más específicas, las dos distancias **b1**, **b2** son cada una independientemente desde 1,1 veces la distancia de borde **a** a 3 veces la distancia de borde **a**. Esto significa que las perforaciones están aún más distanciadas entre sí que de la costura de borde.

[0057] La distancia desde el borde superior a la línea adyacente de las perforaciones se identifica por el numeral de referencia **416**, y se mide desde el borde superior al centro de las perforaciones. La distancia desde el borde inferior a la línea adyacente de las perforaciones se identifica por el numeral de referencia **418**, y se mide desde el borde inferior al centro de las perforaciones. Debido a tolerancias de fabricación, estas distancias deben medirse como la distancia promedio desde cada perforación en la línea dada de perforaciones. Estas dos distancias **416**, **418** son 25 mm o menos, incluyendo desde 5 mm a 25 mm.

[0058] A modo de contraste, la pared de celda del arte previo mostrada en **FIG. 1** tiene cuatro patrones de perforaciones, no un patrón único. Como se explicó más arriba, un patrón se forma de líneas laterales en las cuales se mantiene una distancia constante entre todas las perforaciones adyacentes. La distancia D3 separa las

perforaciones en dos grupos, porque D3 es mayor que la distancia entre perforaciones en cada grupo (compárese D3 con D4). Además, la distancia D6 separa las perforaciones en dos grupos más, porque D6 es mayor que la distancia entre las líneas adyacentes de perforaciones (compárese D6 con D5). Cada grupo en sí puede considerarse un patrón único porque las perforaciones mantienen una distancia constante D4/D5 entre perforaciones adyacentes en una dirección dada, pero cuando hay cuatro patrones en la de celda, no un patrón único.

[0059] Como se muestra en **FIG. 4**, cada perforación **420** es circular, y tiene un diámetro **425** desde alrededor de 7 mm a alrededor de 30 mm, incluyendo desde alrededor de 7 mm a alrededor de 15 mm. Se contempla que las perforaciones podrían ser de una forma diferente, siempre y cuando el área de cada perforación caiga dentro del área definida por un círculo que tiene un diámetro de alrededor de 7 mm a alrededor de 30 mm, incluyendo desde alrededor de 7 mm a alrededor de 15 mm. Por ejemplo, la perforación podría ser un óvalo, un cuadrado, o un triángulo. En el caso de una perforación no circular, el diámetro es la línea más larga que se extiende a través del centroide de la perforación. En modalidades particulares, el área total de las perforaciones es desde alrededor de 5% a alrededor de 18% del área de la pared de celda.

[0060] Aspectos adicionales de la pared de celda de **FIG. 4** se observan en **FIG. 5**. Aquí, las longitudes se indican en milímetros (mm). Cada perforación tiene un diámetro de 9 mm. Los centros de las perforaciones adyacentes en la misma línea lateral se distancian cada 30 mm en la lateral. Líneas laterales adyacentes se escalonan unas en relación con las otras, de modo que las líneas laterales cuyos extremos coinciden en la misma línea vertical se distancian en 20 mm. Análogamente, hay una distancia de 15 mm entre los centros de perforaciones escalonadas adyacentes. La línea superior de las perforaciones está 20 mm del borde superior. La línea inferior de las perforaciones está 20 mm del borde inferior. La línea de perímetro vertical de las perforaciones más próximas a cada costura de borde está 27,5 mm de la costura de borde, medida desde el centro de las perforaciones.

[0061] El patrón único ilustrado aquí contiene 22 líneas laterales. 20 líneas laterales **432**, **434** tienen seis perforaciones. Las otras dos líneas laterales (numeral de

referencia **430**) tienen 14 perforaciones, con dos de las perforaciones (numeral de referencia **421**) en cada línea lateral estando más próximas a la costura central que las otras 20 líneas laterales. Las 20 líneas laterales pueden separarse en dos conjuntos, los cuales están escalonados separadamente uno del otro, de manera que sus perforaciones extremas se ordenan en diferentes líneas verticales paralelas. Las líneas de puntos **442** muestran el arreglo del conjunto de líneas laterales **432**, mientras que las líneas de puntos **444** muestran el arreglo del otro conjunto de líneas laterales **434**. Las otras líneas laterales **430** se disponen para tener sus perforaciones extremas en la misma línea vertical que el conjunto **434**.

[0062] Una cinta **450** que tiene a longitud **452** paralela a las costuras de borde **402**, **404** y un ancho de 35 mm se muestra aquí en una línea de puntos. La cinta se extiende desde el borde superior **406** al borde inferior **408**, no desde la primera costura de borde **402** a la segunda costura de borde **404**. Sin importar dónde se ubica esta cinta a lo largo del patrón de **FIG. 5**, siempre habrá por lo menos una perforación localizada en la cinta. Aquí, la cinta contiene 12 perforaciones. La cinta divide asimismo seis perforaciones por la mitad; porque estas no son perforaciones completas, no se consideran.

[0063] Con referencia nuevamente a la **FIG. 1** del arte previo, D3 tiene un ancho de 41,3 mm. Por consiguiente, es posible localizar una cinta de 40 mm de ancho a lo largo de este patrón de perforaciones que no contiene perforaciones (ilustrado como el numeral de referencia **450**, rectángulo sólido). En los presentes patrones de perforación, cualquier cinta de 40 mm de ancho contendrá por lo menos una perforación y, usualmente, contiene una pluralidad de perforaciones dispuestas en una línea.

[0064] En términos generales, el patrón único descrito aquí es tal que, cuando la tira se somete a carga en un modo de tensión con una carga de 6,0 kN/m para un espesor de pared de 1,2 mm a 1,5 mm o 0,4 kN/m para los espesores de pared de 1,0 mm a 1,2 mm a 23°C hasta que la tira ha aumentado en longitud en 12%, y se toman entonces las mediciones, el incremento en el diámetro de perforación en la dirección de esfuerzo (promedio de por lo menos 3 perforaciones en la línea más afectada) es como máximo 15%. La medición se toma en la línea de perforaciones más afectada por el esfuerzo, y

el valor del incremento en el diámetro de perforación es un promedio de por lo menos 3 perforaciones en esa línea.

[0065] FIG. 6 es otra modalidad ejemplar de una geocelda con un patrón de perforación de la presente divulgación. Aquí, la longitud total de la pared de celda es 445 mm (identificada aquí como dos mitades de 222,5 mm de longitud). La altura total de la pared de celda es 200 mm. Cada perforación se ilustra con un diámetro de 9 mm. Los centros de las perforaciones adyacentes en cada línea lateral se distancian entre sí 30 mm en la dirección lateral. Las líneas laterales cuyos extremos coinciden en la misma línea vertical se distancian en 20 mm. Hay una distancia de 15 mm entre los centros de las perforaciones escalonadas adyacentes. La línea superior de perforaciones está 20 mm del borde superior. La línea inferior de perforaciones está 20 mm del borde inferior. La línea de perímetro vertical de las perforaciones más próximas a cada costura de borde está 27,5 mm de la costura de borde, medida desde el centro de las perforaciones. El patrón único de perforaciones consta de 30 líneas laterales que tienen seis perforaciones y se organizan en dos conjuntos diferentes **432**, **434**, y las dos otras líneas laterales **430**, que tienen 14 perforaciones, con dos de las perforaciones (numeral de referencia **421**) en estas líneas laterales estando más próximas a la costura central **410** comparadas con las otras 30 líneas laterales. Un conjunto de líneas laterales **432** se ordenan de modo que sus perforaciones extremas se disponen en líneas paralelas verticales **442**. El otro conjunto **434** se ordena con las dos líneas laterales **430** de manera que sus perforaciones extremas se disponen en líneas paralelas verticales **444**.

[0066] FIG. 7 es otra modalidad ejemplar de una geocelda con un patrón de perforación de la presente divulgación. Aquí, la longitud total de la pared de celda es 330 mm (identificada aquí como dos mitades de 165 mm de longitud). La altura total de la pared de celda es 120 mm (no mostrada). Cada perforación se ilustra con un diámetro de 9 mm. Los centros de las perforaciones adyacentes en cada línea lateral se distancian entre sí 30 mm en la dirección lateral. Las líneas laterales cuyos extremos coinciden en la misma línea vertical se distancian en 20 mm. Hay una distancia de 15 mm entre los centros de perforaciones escalonadas adyacentes. La línea superior de perforaciones está 20 mm del borde superior (no mostrada). La línea inferior de

perforaciones está 20 mm del borde inferior (no mostrada). La línea de perímetro vertical de perforaciones más próxima a cada costura de borde está 15 mm de la costura de borde, medida desde el centro de las perforaciones. El patrón único de perforaciones consta de un primer conjunto **432** de 10 líneas laterales que tienen cinco perforaciones, un segundo conjunto **434** de tres líneas laterales que tienen cuatro perforaciones, y un tercer conjunto **430** de una línea lateral que tienen 10 perforaciones, con dos de las perforaciones (numeral de referencia **421**) en esta línea lateral estando más próximas a la costura central **410** comparadas con las otras líneas laterales. El patrón of **FIG. 7** se considera un patrón único porque dos de las líneas laterales (numeral de referencia **430**) se extienden a través de la totalidad de la pared de celda.

[0067] Un conjunto de líneas laterales **432** se ordenan de manera que sus perforaciones extremas se disponen en líneas paralelas verticales **442**. El otro conjunto **434** se ordena con las dos líneas laterales **430** de manera que sus perforaciones extremas se disponen en líneas paralelas verticales **444**. Debe anotarse que en las distintas modalidades descritas aquí, generalmente los dos conjuntos de líneas laterales se organizan de tal manera que la mitad de las líneas están en un lado de la costura central **410**, y la mitad de las líneas están en el otro lado de la costura central. Aquí, la totalidad de las líneas laterales se ilustran de manera que se vea este arreglo.

[0068] **FIG. 8** es otra modalidad ejemplar de una geocelda con un patrón de perforación de la presente divulgación. Aquí, la longitud total de la pared de celda es 356 mm (identificada aquí como dos mitades de 178 mm de longitud). La altura total de la pared de celda es 120 mm (no mostrada). Cada perforación se ilustra con un diámetro de 9 mm. Los centros de perforaciones adyacentes en cada línea lateral se distancian entre sí 30 mm en la dirección lateral. Las líneas laterales cuyos extremos coinciden en la misma línea vertical se distancian en 20 mm. Hay una distancia de 15 mm entre los centros de perforaciones escalonadas adyacentes. La línea superior de perforaciones está 20 mm del borde superior. La línea inferior de perforaciones está 20 mm del borde inferior. La línea de perímetro vertical de perforaciones más próxima a cada costura de borde está 13 mm de la costura de borde, medida desde el centro de las perforaciones. El patrón único de perforaciones consta de 16 líneas laterales que

tienen cinco perforaciones y se organizan en dos conjuntos diferentes, y otra línea lateral que tiene 12 perforaciones, con dos de las perforaciones (numeral de referencia **421**) en esta línea lateral estando más próximas a la costura central **410** comparadas con las otras líneas laterales. Un conjunto de líneas laterales **432** se disponen de manera que sus perforaciones extremas se ordenan en líneas paralelas verticales **442**. El otro conjunto **434** se ordena con las dos líneas laterales **430** de manera que sus perforaciones extremas se disponen en líneas paralelas verticales **444**.

[0069] FIG. 9 es otra modalidad ejemplar de una geocelda con un patrón de perforación de la presente divulgación. Aquí, la longitud total de la pared de celda es 356 mm (identificada aquí como dos mitades de 178 mm de longitud). La altura total de la pared de celda es 150 mm. Cada perforación se ilustra con un diámetro de 9 mm. Los centros de perforaciones adyacentes en cada línea lateral se distancian entre sí 30 mm en la dirección lateral. Las líneas laterales cuyos extremos coinciden en la misma línea vertical se distancian en 20 mm. Hay una distancia de 15 mm entre los centros de perforaciones escalonadas adyacentes. La línea superior de perforaciones está 20 mm del borde superior. La línea inferior de perforaciones está 20 mm del borde inferior. La línea de perímetro vertical de perforaciones más próxima a cada costura de borde está 13 mm de la costura de borde, medida desde el centro de las perforaciones. El patrón único de perforaciones consta de 20 líneas laterales que tienen cinco perforaciones y se organizan en dos conjuntos diferentes, y las dos otras líneas laterales que tienen 12 perforaciones, con dos de las perforaciones (numeral de referencia **421**) en estas líneas laterales estando más próximas a la costura central **410** comparadas con las otras líneas laterales. Un conjunto de líneas laterales **432** se ordenan de manera que sus perforaciones extremas se disponen en líneas paralelas verticales **442**. El otro conjunto **434** se ordena con las dos líneas laterales **430** de manera que sus perforaciones extremas se disponen en líneas paralelas verticales **444**.

[0070] FIG. 10 es otra modalidad ejemplar de una geocelda con un patrón de perforación de la presente divulgación. Aquí, la longitud total de la pared de celda es 356 mm (identificada aquí como dos mitades de 178 mm de longitud). La altura total de la pared de celda es 200 mm (no mostrada). Cada perforación se ilustra con un diámetro de 9 mm. Los centros de perforaciones adyacentes en cada línea lateral se

distancian entre sí 30 mm en la dirección lateral. Las líneas laterales cuyos extremos coinciden en la misma línea vertical se distancian en 20 mm. Hay una distancia de 15 mm entre los centros de perforaciones escalonadas adyacentes. La línea superior de perforaciones está 20 mm del borde superior. La línea inferior de perforaciones está 20 mm del borde inferior. La línea de perímetro vertical de perforaciones más próxima a cada costura de borde está 13 mm de la costura de borde, medida desde el centro de las perforaciones. El patrón único de perforaciones consta de 30 líneas laterales que tienen cinco perforaciones y se organizan en dos conjuntos diferentes, y las dos otras líneas laterales que tienen 12 perforaciones, con dos de las perforaciones (numeral de referencia **421**) en estas líneas laterales estando más próximas a la costura central **410** comparadas con las otras líneas laterales. Un conjunto de líneas laterales **432** se ordenan de manera que sus perforaciones extremas se disponen en líneas paralelas verticales **442**. El otro conjunto **434** se ordena con las dos líneas laterales **430** de manera que sus perforaciones extremas se disponen en líneas paralelas verticales **444**.

[0071] Los patrones de perforación de **FIGs. 5-10** pueden describirse generalmente como formándose de líneas laterales compuestas de perforaciones, con las líneas laterales ordenándose en un patrón escalonado en relación unas con otras. En un grupo dado de x líneas laterales, m líneas laterales tendrán n perforaciones, y $(x-m)$ líneas laterales pueden tener $(n+1)$ perforaciones, con la perforación extra estando más próxima a la costura central. El valor $(x-m)$ puede ser cero, o puede ser uno o más. En modalidades particulares, $(x-m)$ es uno o dos.

[0072] Las geoceldas perforadas de la presente divulgación distribuyen su esfuerzo de manera más uniforme, de manera que puede aumentarse la carga. Cuando las geoceldas fallan, generalmente lo hacen a lo largo de las costuras, sin deformación de las perforaciones y la pared de celda.

[0073] Estas geoceldas son útiles en aplicaciones tales como reforzamiento de carreteras, pavimentos, ferrocarriles, parques de estacionamiento; revestimientos en canales, estanques, reservorios, rellenos sanitarios, represas, barreras, terrazas; y muros de contención.

[0074] La presente divulgación se ilustrará con mayor detalle en los siguientes ejemplos prácticos no limitantes, entendiéndose que estos ejemplos pretenden ser

ilustrativos únicamente y que la divulgación no pretende limitarse a los materiales, condiciones, parámetros del proceso y similares, recitados aquí.

EJEMPLOS

[0075] FIG. 11 muestra una tira de una geocelda del arte previo antes de los ensayos de tensión y la aplicación de carga. La tira tiene una costura de borde en la parte superior, y se corta a lo largo de la costura central (en la base de la tira). Tal como se observa aquí, hay una área significativa sin perforación en la parte superior de la tira, la cual está usualmente presente para evitar la soldadura en las perforaciones.

[0076] La resistencia de pared de la tira se calculó de acuerdo con el siguiente procedimiento. Se corta una tira de una pared de geocelda, a una longitud de por lo menos 100 mm, preferiblemente proveniente de un área adyacente a la costura. La tira se ensaya con respecto a la carga de cedencia o la carga de ruptura, cualquiera de las dos que ocurra primero. La tira se ensaya en la dirección perpendicular a la costura. La velocidad de deformación se adapta de manera que la razón entre {velocidad de deformación (mm/minuto)} y {distancia entre prensas de sujeción en mm cuando se inicia el ensayo} es 150:100, o en otras palabras, la velocidad de deformación es 150%/min. La carga medida a cedencia o de ruptura (*at yield or break*) en Newtons (N) se divide por el ancho de la tira (correspondiente a la altura de la pared de celda), en metros. El resultado es la resistencia de pared de la geocelda ofrecida actual, en N/m.

[0077] La medición de la resistencia al rompimiento (*splitting resistance*) está de acuerdo con ISO 13426-1 (método C). El término “resistencia al rompimiento de la costura” se emplea aquí para referirse a la carga que ocasiona que la costura o tira (cualquiera de las dos que falle primero) se rompa de acuerdo con ISO 13426-1 (método C), normalizada a unidades de N/m.

[0078] FIG. 12 muestra la tira del arte previo luego de haberse cargado para ceder. Para una tira de 1,5 mm de espesor, 100 mm de ancho, la carga a cedencia fue de 1200 N. Las perforaciones se deformaron seriamente, mientras que el cinturón no perforado no se deformó. Este producto tiene una zona de “cuello de botella” débil. La tira tiene alrededor de 50% de la resistencia de una tira no perforada, pero las

perforaciones son alrededor de 18% del área de la pared de celda. Esto se atribuye a la concentración de esfuerzo en los grupos de perforaciones.

[0079] FIG. 13 muestra una tira de una geocelda de la presente divulgación, con las perforaciones ocupando significativamente más área de la pared de celda, y extendiéndose en dos grupos. Esta fotografía se tomó después de que la tira se había cargado para ceder (*to yield*). Para una tira de 1,3 mm de espesor, de 100 mm de ancho, la carga a cedencia fue de 2200 N, la cual es significativamente más alta que la tira del arte previo. Las perforaciones no se deformaron, y la tira se rompió a lo largo de la costura.

[0080] FIG. 14 muestra una tira de una geocelda de la presente divulgación, tanto antes como después de la carga de tensión (antes, al lado izquierdo, después, al lado derecho). El patrón único de perforaciones consta de un primer conjunto de seis líneas laterales que tienen cuatro perforaciones, un segundo conjunto de ocho líneas laterales que tienen cinco perforaciones, y un tercer conjunto de una línea lateral que tiene 10 perforaciones, con dos de las perforaciones en esta línea lateral estando más próximas al centro. En la tira “antes”, al lado izquierdo, hay una distancia de 60 mm entre las perforaciones en ambos lados de la costura central. Se indican tres distancias de 30 mm entre perforaciones adyacentes. Una distancia de 15 mm está presente entre perforaciones en líneas laterales adyacentes. Finalmente, se indican tres distancias verticales de 20 mm entre líneas laterales en el mismo conjunto. La tira tiene una altura de 150 mm, y una longitud de 330 mm, y un espesor de pared de 1,3 mm. Aunque no indicado, cada perforación tiene un diámetro de 9 mm.

[0081] Se condujo un ensayo de tensión a 165 mm/min hasta que la tira cedió (*yielded*) en alrededor de 12% de deformación. En la tira “después”, en el lado izquierdo, la distancia de 60 mm aumentó a 62 mm. Las distancias de 30 mm se incrementaron a 32-33 mm. La distancia de 15 mm entre perforaciones en líneas laterales adyacentes no varió. Las distancias verticales de 20 mm no variaron. La altura de la tira varió de 150 mm a 148 mm. La longitud de la tira varió a 341 mm, y el espesor de pared disminuyó a 1,28 mm. El diámetro de la perforación se incrementó de 9 mm a 11 mm. Este incremento en el diámetro de perforación es alrededor de 22% del

diámetro de perforación original. Estas distorsiones son muy pequeñas, y muy difíciles de apreciar. La variación en la longitud de la tira fue de 3,3%.

[0082] **FIG. 15** es otro conjunto de fotografías que muestran tres tiras diferentes luego de los ensayos de carga. La sollicitación (*charging*) tuvo lugar a 6 kN/m de carga durante un período de 96 horas a 23 grados Celsius. La tira más a la izquierda es color marrón, y tiene dos grupos separados de perforaciones localizadas a lo largo del centro de la tira, perforaciones que tienen un diámetro inicial de 10 mm. La tira más a la izquierda tenía un espesor de pared inicial de 1,50 mm, y una longitud inicial de 165 mm. Hay dos áreas amplias que no tienen perforaciones en un extremo cualquiera de la tira. La tira del centro es negra, y tiene dos grupos de perforaciones separadas, localizadas más cerca del extremo superior de la tira, perforaciones que tienen un diámetro inicial de 10 mm. La tira del centro tenía un espesor de pared inicial de 1,55 mm, y una longitud inicial de 165 mm. Hay un área amplia que no tiene perforaciones en el extremo inferior de la tira. Las tiras más a la izquierda y del centro tienen perforaciones en diferentes patrones del arte previo. La tira más a la derecha es una tira de la presente divulgación. Un patrón único de perforación se alarga a través de la tira (indicado por las líneas negras), perforaciones que tienen un diámetro inicial de 9 mm. La tira más a la derecha tenía un espesor de pared inicial de 1,3 mm, y una longitud inicial de 165 mm.

[0083] Estas tiras se cargaron con una carga de 6 kilonewtons por metro, durante 90 minutos a temperatura ambiente. **FIG. 16** es una fotografía de la tira del centro durante este período de ensayo. Con referencia nuevamente a **FIG. 15**, la deformación de las tiras más a la izquierda y del centro (arte previo) se puede ver más fácilmente en la forma de las perforaciones que eran originalmente circulares, pero ahora son muy ovaladas o elípticas. El diámetro de perforación final de estas dos tiras era mayor que 15 mm, es decir, un incremento de más de 50%. Por el contrario, las perforaciones circulares en la tira más a la derecha mantendrán su forma circular. La tira más a la derecha tenía diámetros de perforación finales de menos de 10 mm. Adicionalmente, la tira más a la izquierda tenía un espesor de pared final de 1,45 mm, y una longitud final de 186 mm. La tira del centro tenía un espesor de pared final de 1,45 mm, y una

longitud final de 180 mm. La tira más a la derecha tenía un espesor de pared final de 1,28 mm, y una longitud final de 170 mm.

[0084] La tira más a la izquierda tenía una longitud inicial de 165 mm, y una longitud final de 186 mm, para un incremento de longitud de la tira de 12,7%. El diámetro de perforación aumentó en más de 50%. Este desempeño no satisfaría el segundo ensayo descrito aquí.

[0085] La tira del centro tenía una longitud inicial de 165 mm, y una longitud final de 180 mm, para un aumento de la longitud de la tira de 9,1%. El diámetro de perforación se incrementó en más de 50%. Este desempeño no satisfaría el segundo ensayo descrito aquí.

[0086] La tira más a la derecha tenía una longitud inicial de 165 mm, y una longitud final de 170 mm, para un incremento de la longitud de la tira de 3,0%. El diámetro de perforación aumentó en menos de 11%. Se predice que este desempeño satisfaría el segundo ensayo descrito aquí.

[0087] La presente divulgación se ha descrito con referencia a modalidades ejemplares. Obviamente se les ocurrirán modificaciones y alteraciones a otros expertos en la materia luego de leer y entender la detallada descripción que antecede. Se pretende que la presente divulgación se interprete como incluyendo todas las modificaciones y alteraciones semejantes, en la medida en que caigan dentro del ámbito de las reivindicaciones anexas o sus equivalentes.