📖مقدمة:

عرف النفط الخام منذ الأزمان الغابرة، حيث كان يظهر على سطح الأرض وكان الإنسان يجمعه بطرق بدائية، فاستخدم الأواني الفخارية والأكياس الجلدية لهذه العملية، ثم ظهرت خزانات النفط الأولي باستخدام الحفر الأرضية ضمن التربة الغضارية بأعماق تتراوح من (4-5) م، أو الخزانات الحجرية المبنية داخل الأرض، واستمر هذا النوع من التخزين حتى النصف الثاني من القرن التاسع عشر ومع بداية الإنتاج الصناعي للنفط الخام والذي رافق عمليات الحفر المتطورة ظهرت صناعة البراميل من أجل عمليات النقل والتخزين ومن ثم أقيمت خزانات على سطح الأرض بالقرب من الآبار. إلا أن الثورة الحقيقية في مجال التخزين كانت بإيجاد طرق ومعدات لتخزين كميات كبيرة من النفط الخام ومشتقاته والتي جاءت لتواكب التطور الكبير في مجالات الاستكشاف والحفر والإنتاج، فظهرت الخزانات المعدنية بمختلف أنواعها والخزانات الأسمنتية، والخزانات في الصخور الأرضية ... وما زال البحث جارياً في هذا المجال بهدف الوصول إلى الظروف المثلى لعملية التخزين وبما يتلاءم مع متطلبات الصناعة النفطية.

✓ **تصنيف الخزانات:**

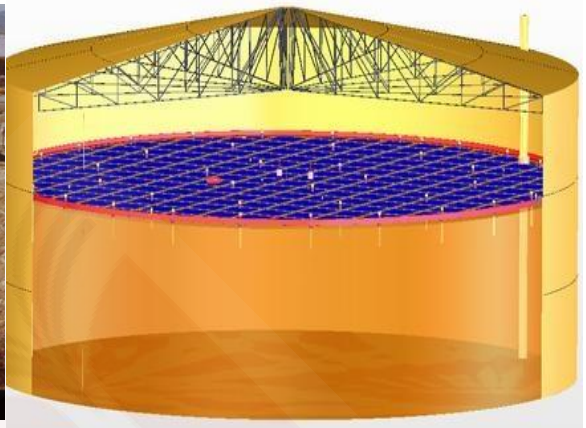
تصنف الخزانات وفق معايير عديدة، ويمكن يشكل عام اعتماد التصنيف التالي الذي يأخذ بعين الاعتبار (وبآن واحد):

- الضغط الذي يعمل عنده الخزان (ضغط تشغيل الخزان)
- نوع سقف الخزان
- الشكل الخارجي للخزان.

الخزانات العاملة عند الضغط الجوي (Atmospheric storage): وهي بالتعريف الخزانات التي تعمل عند الضغط الجوي أو عند ضغط قريب من الضغط الجوي، يستعمل هذا النوع من الخزانات لحفظ السوائل التي لاتتبخر عند درجة حرارة الوسط المحيط (ambient temperature). وتشمل الخزانات المستعملة في هذه الفئة الأنواع التالية:

1. خزانات ذوات سقوف ثابتة (fixed roof)-المخروطية والقببية.
2. خزانات ذوات سقوف عائمة (floating roof).

Dome Roof Tank	Cone Roof Tank

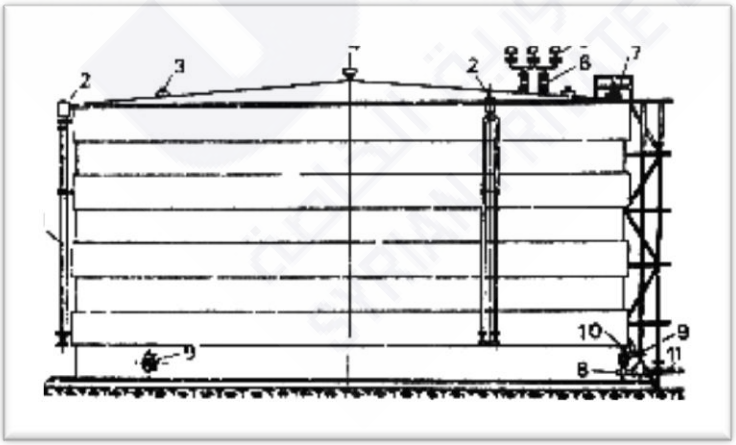


Floating roof tank	Internal Floating Roof Tank

الشكل (1)، أهم أنواع الخزانات المستخدمة في الصناعة النفطية.

- **الخزانات ذوات السقوف الثابتة** (Fixed roof tanks):

يستخدم هذا النوع من الخزانات لتخزين المواد النفطية التي تزيد درجة وميضها (Flash point) عن (80 F° = 26.7 C°) أي المواد النفطية التي لا تحتوي على مركبات خفيفة تسبب ضياعات كبيرة في أثناء التخزين وأيضاً تجنباً لخطر الحريق والانفجار، لذلك لا تصلح هذه الخزانات إلا لتخزين الأنواع الثقيلة من النفط الخام وزيت الحرق الثقيل (Fuel oil) وزيوت التزييت والكيروسين (Kerosene) ذو درجة الاشتعال العالية. ويبين الشكل (2) تفاصيل خزان ذي سقف ثابت.



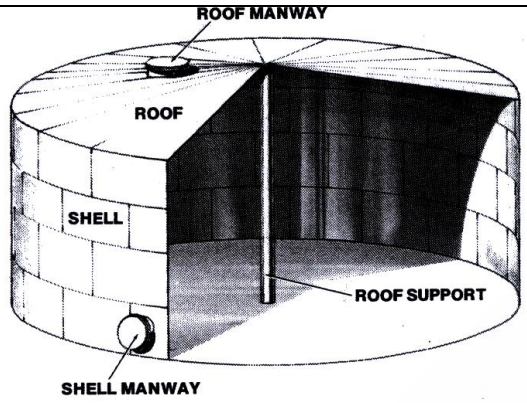
الشكل (2)، تفاصيل خزان ذي سقف ثابت

ونميز على الشكل الأجزاء التالية:

1. أنابيب رغوة الإطفاء.
2. غرفة صرف رغوة الإطفاء.

3. فتحة الإضاءة لتهوية وإضاءة الخزان في أثناء الصيانة والإصلاح وبقطر أصغري 20 انش (0.5 m) حسب معهد النفط الأمريكي (API). ويزداد عدد فتحات الإضاءة بزيادة قطر الخزان.
4. فتحة التنفس الحر (صمام تنفس): والتي تمنع ازدياد الضغط أو انخفاضه عن حد معين في أثناء التعبئة والتفريغ أو في أثناء تنفس الخزان.
5. في حالة المنتجات ذات درجة الاشتعال أقل من (100 F° = 37.8 C°) وللحد من الضياع بالبخر في أثناء تنفس الخزان يركب أيضاً على السقف الثابت فوهة تنفس لا تنفتح إلا عندما يرتفع الضغط داخل الخزان قليلاً عن الضغط الجوي (وذلك في أثناء ارتفاع مستوى السائل داخل الخزان أو عند ارتفاع درجة حرارته)، أو عندما ينخفض الضغط قليلاً عن الضغط الجوي (في أثناء تفريغ السائل من الخزان، أو عند انخفاض درجة حرارته)، وتسمى هذه الفوهة بصمام الأمان . أما إذا خزنت مواد ذوات درجة اشتعال أعلى من (37.8 C° = 100 F°) فيكتفى عندئذ بفتحة التنفس الحر (صمام تنفس).
6. مانع اللهب: ويركب أسفل صمام الأمان وذلك من أجل منع مرور اللهب ذي المصدر الخارجي (كالبرق مثلاً) وبالتالي تفادي حدوث حريق أو انفجار داخل الخزان. ويتألف مانع اللهب من خلية مصنوعة من صفائح مثقبة أو مموجة والتي تحوي ممرات ضيقة جداً لا تسمح بمرور اللهب إلى داخل الخزان لكنها كافية لدخول الهواء الجوي أو خروج الأبخرة الناتجة عن تنفس الخزان.
7. فتحة قياس مستوى السائل داخل الخزان ويجب أن يكون قطر هذه الفتحة بين (8 - 6) انش (0.2 m - 0.15) حسب (API)، وبشكل عام يكفي وجود فتحة قياس واحدة لخزان يبلغ قطره 30 قدماً (9.15 m) وبازدياد قطر الخزان يزداد عدد فتحات القياس.
8. صنبور سيفوني: حيث تجهز قاعدة الخزان بتقعر خاص لفصل المياه من أسفل الخزان، ويركب على هذا التقعر خط سحب خاص (سيفون)، ويكون الصمام على خط السحب هذا مركباً داخل الخزان لتفادي التجمد في المناطق الباردة حيث تتم إدارته بواسطة ذراع ممتد إلى خارج الخزان.
9. فوهة الصيانة: حيث يجهز جدار الخزان بفوهة لدخول الإنسان من أجل أعمال الصيانة والإصلاح والتنظيف وبقطر أصغري 20 إنش (0.5 m) حسب معهد النفط الأمريكي (API) ، ويزداد عدد فوهات الصيانة بزيادة قطر الخزان.
10. رافعة.
11. أنبوب الاستقبال والتوزيع.

ويجهز الخزان عادةً بنظام تبريد مائي (على السقف أو الجدار) بهدف التقليل من تأثير حرارة الجو الخارجي. وفي حالات أخرى يمكن أن يُجهَز الخزان بنظام تسخين خاص (وذلك عندما تكون المادة المخزنة ذات لزوجة عالية جدا)، الأمر الذي يُسّهل عملية تفريغ الخزان. ونُشير أخيراً أن السقف الثابت يكون مخروطي الشكل أو على شكل قبة كما هو موضح في الشكل (3).

	
Cone roof tank	Dome Roof Tank

الشكل (3).

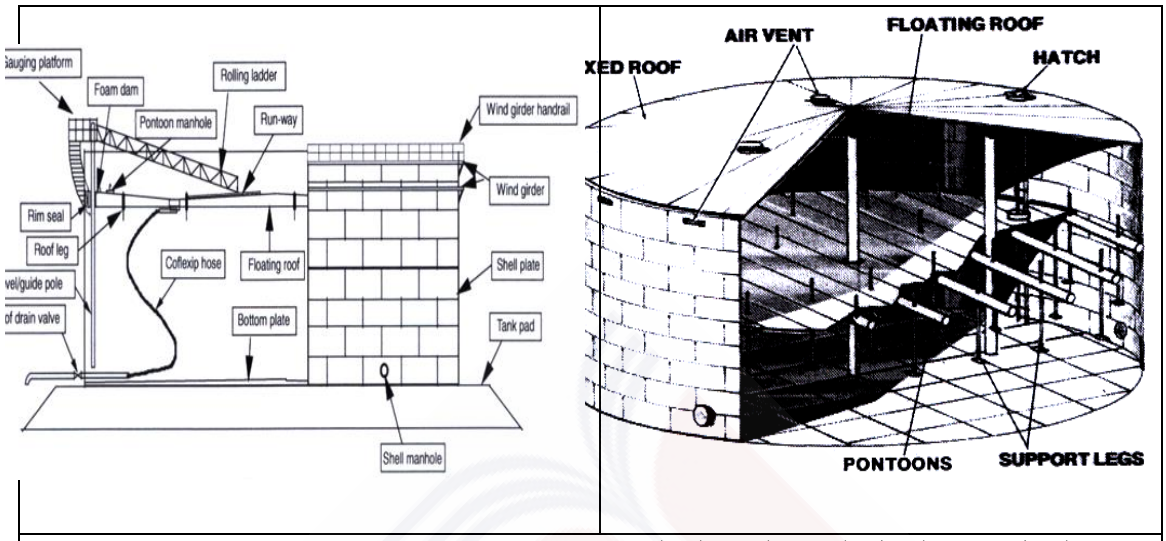
لهذا النوع من الخزانات مساوئ عديدة يمكن إجمالها بما يلي:

1. يكون الضياع بعملية البخر كبيراً، خصوصاً عند تخزين المشتقات النفطية.
2. إن دخول الهواء الجوي الرطب إلى الخزان وتلامسه مع المادة المخزنة يؤدي إلى زيادة نسبة المياه فيها، بالإضافة إلى إمكانية حدوث تفاعلات أكسدة للمادة المخزنة بفعل أوكسجين الهواء الجوي والتي ينتج عنها صموغ تؤدي إلى التقليل من ثباتية عملية التخزين.
3. إن وجود المجال الغازي فوق سطح السائل يعرض الخزان إلى التآكل الكيميائي بفعل غاز كبريت الهيدروجين (H_2S) الذي يمكن أن ينطلق من النفط الخام أو مشتقاته.
4. إن الضياعات بسبب البخر تؤدي إلى تغير في مواصفات المواد المخزنة.
5. إن الخزانات ذوات السقوف الثابتة تحتوي دائماً فوق مستوى السائل على مزيج من الهواء والأبخرة القابلة للانفجار مما يعرضها لخطر الانفجار والحريق بفعل الصواعق أو الكهرباء الساكنة أو أي مصدر كهربائي آخر.

- **الخزانات ذوات السقوف العائمة** (Floating Roof Tank):

نظراً للمساوئ الكثيرة التي تتصف بها الخزانات ذوات السقوف الثابتة وخاصة عند تخزين المشتقات النفطية الخفيفة فقد تم تطوير خزانات ذوات سقوف تعوم على سطح السائل المخزون مما يؤدي إلى التقليل من الفراغ الغازي الممتلئ بأبخرة الفحوم الهيدروجينية وهذا بدوره يؤدي إلى المحاسن التالية:

1. التقليل من الضياع بعملية البخر.
2. إن عزل السائل المخزن عن الهواء الجوي بواسطة السقف العائم يؤدي إلى عدم امتصاص رطوبة الهواء وبالتالي عدم أكسدة المنتجات النفطية بأوكسجين الهواء مما يزيد من ثباتية التخزين.
3. إن عدم وجود مزيج من الهواء وأبخرة الفحوم الهيدروجينية والقابل للإنفجار فوق سطح السائل يؤدي إلى تقليل خطر الانفجار إلى حد كبير.
4. إن التقليل من الضياع بعملية البخر يؤدي بدوره إلى عدم تغيير مواصفات المواد المخزنة بشكل كبير. ويبين الشكل (4) الشكل العام والتفصيلي لخزان ذي سقف عائم.

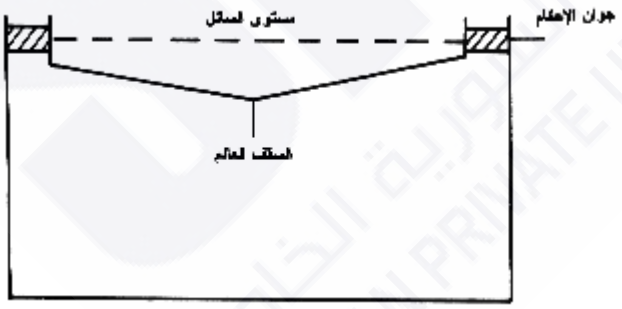


الشكل (4)، الشكل العام والتفصيلي لخزان ذو سقف عائم (Floating Roof Tank)

✓ **أنواع السقف العائم:**

1. **السقف العائم بشكل الصحن وبطبقة واحدة من المعدن** (Pan Roof):

هذا النوع لا يحتوي على فواشات ويعتبر من أرخص الأنواع لأن صُنعه لا يحتاج إلى مواد كثيرة، حيث يتألف من طبقة واحدة من المعدن تعوم على سطح السائل، ويأخذ هذا النوع شكلاً مشابهاً لشكل الصحن حيث يغطس قسم كبير منه في السائل مزيحاً حجماً كبيراً منه، مما يؤدي إلى نشوء قوة دفع تؤدي إلى عوم السقف فوق سطح السائل، كما في الشكل (5).



الشكل (5)، خزان ذو سقف عائم وبطبقة واحدة من المعدن ولايحتوي على فواشات.

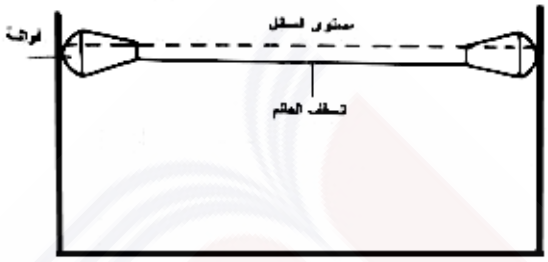
لكن هذا النوع له بعض المساوئ ، فهو عديم الاستقرار، إذ يمكن أن يغرق تحت تأثير أقل حمولة تسببها العوامل الجوية (الثلوج مثلاً)، كما يمكن أن يغرق إذا حصل تهريب للسائل من الحواف (أطراف السقف).

وقد تتغير أبعاده وشكله بسهولة بفعل الرياح والعوامل الجوية الأخرى، بالإضافة إلى ذلك فإن هذا السقف غير عازل حرارياً، حيث ينقل حرارة أشعة الشمس إلى سطح السائل، الأمر الذي يؤدي إلى ارتفاع حرارة السائل وتبخر جزء منه وبالتالي تسرب البخار الناتج من أطراف السقف العائم التي لا يمكن أن تمنع التهريب كلياً.

2. **السقف العائم الذي يحتوي على فواشات** (Pontoon Roof):

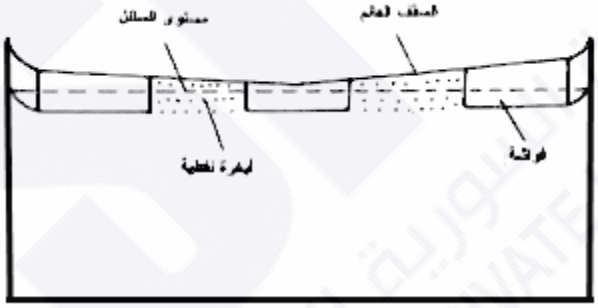
يحوي هذا السقف على فواشات تغطي جزءاً منه وتعطيه استقراراً أكثر وتحملاً أكبر للأثقال، وينقسم هذا النوع إلى عدة أنواع:

- السقف العائم الذي يحوي على أقل مساحة ممكنة من الفواشات (Minimum Pontoon Roof): تغطي الفواشات في هذا النوع 30% من مساحة السقف العائم الذي يكون مستواه أدنى من مستوى السائل في الخزان كما في الشكل (6).



الشكل (6)، خزان ذو سقف عائم بواسطة فواشات تغطي مساحة أقل مايمكن منه.

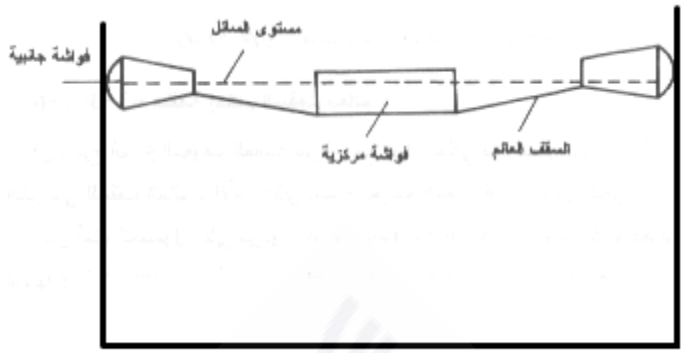
- السقف العائم بفواشات تغطي مساحة أكبر وتكون صفائح السقف غير ملامسة لسطح السائل (High-Deck Pontoon Roof): في هذا النوع يكون السقف مرتفعاً عن سطح السائل وبذلك يتوفر عزل لسطح السائل عن حرارة أشعة الشمس. أما الغازات والأبخرة المنطلقة من السائل المخزن فيتم عزلها بين سطح السائل والسقف العائم، كما في الشكل (7).



الشكل (7)، خزان ذو سقف عائم بواسطة فواشات تغطي مساحة أكبر مايمكن منه.

ويمتاز هذا النوع باستقرار أكبر، ولكن معدن السقف العائم معرض للتآكل الكيميائي إذا كانت المادة المخزنة تحتوي على غازات حمضية (H_2S) حيث تنطلق هذه الغازات في الفراغ الكائن بين السقف وسطح السائل وتؤدي بوجود الرطوبة إلى تآكل معدن السقف العائم.

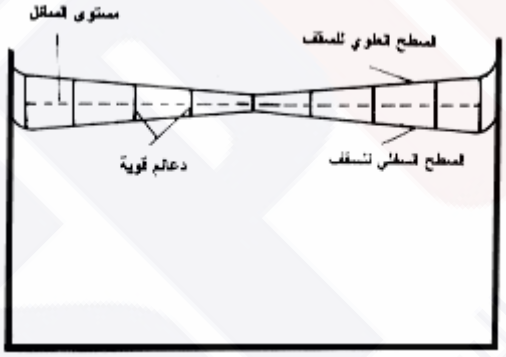
- السقف العائم بفواشة في المنتصف مع فواشات جانبية ويكون أخفض من مستوى السائل (Low-Deck Pontoon Roof): ويتميز هذا النوع بالإضافة إلى استقراره بأنه يمنع حدوث التآكل كون السقف أخفض من مستوى السائل ويستخدم هذا النوع في أثناء تخزين النفط الحاوي غازات حمضية (H_2S). وهو موضح بالشكل (8).



الشكل (8)، السقف العائم بفواشة في المنتصف مع فواشات جانبية.

3. **السقف العائم ذو الجدار المضاعف** (Double Deck Roof):

يعتبر هذا النوع من أفضل الأنواع، حيث يتمتع باستقرار جيد وعزل حراري ممتاز، ويمكن أن يتحمل أثقالاً تتعدى وزن ارتفاع 10 إنش (25 cm) من الثلج. ويتألف هذا السقف من جدار مضاعف حيث يصل بين الصفائح العلوية والسفلية دعائم قوية كما في الشكل (9).



الشكل (9)، السقف العائم ذو الجدار المضاعف.

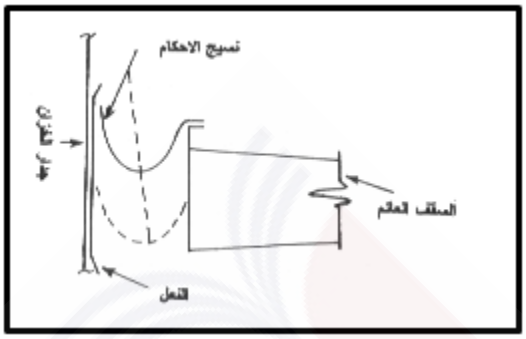
✓ **أنظمة إحكام السقف العائم:**

إن جميع أنواع السقوف العائمة تترافق مع فراغ حلقي بين جدار الخزان والإطار الخارجي للسقف العائم، الأمر الذي يسمح بحركة السقف العائم ضمن الخزان. ومن أجل الحصول على مردود أعظمي للسقف العائم كأداة للتحكم بعملية الضياع بالبخر فإنه يجب أن يحتوي هذا الفراغ الحلقي على نظام إحكام فعال تماماً، حيث يغلق الفراغ الحلقي ويساعد على مركزة السقف العائم وبالتالي يسمح بالحركة الطبيعية للسقف العائم ضمن الخزان وبشكل عام تقسم أنظمة إحكام السقف العائم إلى:

1. نظام الإحكام الأولي الميكانيكي بنعل (Mechanical Shoe Primary Seal):

يتألف هذا النوع من إطار معدني خفيف نسبياً يتصل بشكل ميكانيكي منزلق مع جدار الخزان، ويتالف هذا الإطار من مجموعة صفائح معدنية ترتبط مع بعضها البعض بشكل حلقي وتدعى (نعل) وهي تكون بارتفاع 3-5 قدم (0.9 - 1.5 m) مما يزيد من منطقة الاتصال الممكن مع جدار الخزان.

ويكون السقف العائم وسطح السائل في مأمن من تأثير الجو الخارجي باستخدام نسيج يربط بين الإطار المعدني (مجموعة الصفائح) والسقف العائم وهذا ما يدعى (بنسيج الإحكام الأولي) وتتم عملية الربط إما من الأعلى أو من الأسفل (أي بالقرب من سطح السائل مما يؤدي إلى فراغ بخاري أقل) كما هو مبين في الشكل (10).

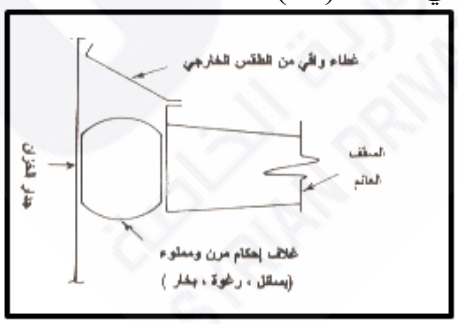


الشكل (10)، نظام الإحكام الأولي الميكانيكي بنعل.

ويزود الإطار المعدني (مجموعة الصفائح) عادة بمرونة كافية للتأقلم مع عدم انتظام جدار الخزان. إن نظام الإحكام الأولي الميكانيكي يمتلك يشكل عام عمراً زمنياً جيداً ويستخدم في أثناء تخزين المنتجات الأكالة أو في ظروف التشغيل غير العادية (مثل تعريض القسم السفلي للسطح العائم للهواء باستمرار مما قد يؤدي إلى تآكل شديد).

2. **نظام الإحكام الأولي بغلاف مرن ومملوء (بسائل ،رغوة ،بخار)** (Resilient Filled Primary Seal):

في هذا النوع يتم استخدام غلاف مرن على اتصال انزلاقي مع جدار الخزان ويمكن أن يملأ هذا الغلاف إما بـ (سائل ،رغوة ،بخار) الأمر الذي يسمح بتمدد الغلاف المرن وبالتالي يحقق الاتصال المناسب مع الجدار الداخلي للخزان. وغالباً ما يترافق هذا النظام مع وجود غطاء واق من الظروف الجوية كما هو مبين في الشكل (11).



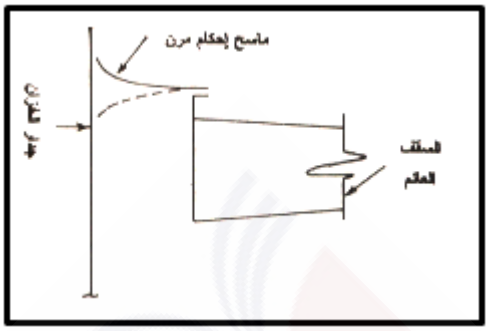
الشكل (11)، نظام الإحكام الأولي بغلاف مرن ومملوء

والميزة الأساسية لهذا النظام هي مرونته الكبيرة، كما أنه أقل خدشاً لجدار الخزان بالمقارنة مع نظام الإحكام الميكانيكي . لذلك فإن نظام الإحكام المرن والمملوء يستخدم بشكل نموذجي عندما يتم استخدام غطاء داخلي لجدار الخزان.

3. **نظام الإحكام الأولي مع ماسح مرن** (Flexible Wiper Primary Seal):

في هذا النوع يتم استخدام طرف حاد مرن يكون على تماس انزلاقي مع جدار الخزان، وهذا الطرف المرن (الماسح المرن) يغطي الفراغ الحلقي بين السقف العائم والجدار الداخلي للخزان.

والجدير بالذكر أن بعض أنظمة الإحكام ذوات الماسح المرن تصمم بحيث تأخذ وضعاً معاكساً عندما ينعكس مسار (اتجاه حركة) السقف العائم ضمن الخزان كما هو مبين في الخط المنقط في الشكل (12).



الشكل (12)، نظام الإحكام الأولي مع ماسح مرن.

ويمتاز هذا النظام بمرونة كبيرة مما يجعله أكثر انسجاماً وتوافقاً مع جدار الخزان (بالمقارنة مع نظام الإحكام الميكانيكي). كما أنه يترافق مع فراغ بخاري محيطي (وسادة غازية) والذي يميل إلى المساهمة بعملية الضياع بالبخر.

- **الخزانات التي تعمل عند ضغط أعلى من الضغط الجوي** (Pressurized storage): وتستخدم هذه الخزانات لتخزين المنتجات النفطية ذوات الضغط البخاري العالي مثل الغازات السائلة (بروبان، بوتان) (LPG) بدرجات الحرارة العالية. وتشمل :

1. خزانات تعمل عند ضغط منخفض نسبياً يتراوح بين ($1.1 - 2\ Kgf / cm^2$) وهي ذوات أشكال نصف كروية.
2. خزانات تعمل عند ضغط عال نسبياً يتراوح بين ($2 - 15\ Kgf /cm^2$) وهي ذوات أشكال كروية أو أسطوانية أفقية .

- **الخزانات الخاصة**، وتشمل:

1. الخزانات المبردة والمعزولة.
2. خزانات لتخزين النفط في البحر (تحت بحرية).

- **الخزانات تحت الأرضية.**

ولكن من المهم الإشارة إلى أنه قبل البدء في عملية تصميم وبناء الخزان لابد من تعيين الخصائص الفيزيائية للمنتج المراد تخزينه مثل التطاير (volatility) و(RVP) ونقطة الانصباب (pour point) ونقطة الوميض (flash point) .....الخ