

308917



UNIVERSIDAD PANAMERICANA

ESCUELA DE INGENIERIA

CON ESTUDIOS INCORPORADOS A LA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

“DISEÑO DE UNA MEZCLADORA DE GASES PARA SOLDADURA”

T E S I S P R O F E S I O N A L
P A R A O B T E N E R E L T Í T U L O D E :
I N G E N I E R O M E C Á N I C O E L E C T R I C I S T A
Á R E A : I N G E N I E R Í A E L E C T R O M E C Á N I C A

P R E S E N T A N :
JOSÉ ANTONIO AGUILAR CHÁVEZ
SANDRA LILIA CASTILLO FLORES
ALEJANDRO RAFAEL LÓPEZ LÓPEZ
FELIPE DE JESÚS MARTÍNEZ SÁNCHEZ
ROBERTO PELTIER SABURIT

DIRECTOR DE TESIS: M.I. LEOPOLDO A. GONZÁLEZ GONZÁLEZ



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A Dios.

A mis padres, por darme la vida y formación, por su amor y apoyo incondicional en todo instante para hacer de mí siempre mejor persona.

A Karla, a quien Dios designó para estar conmigo siempre, por su amor, por su comprensión, por su apoyo en todo momento y con quien comparto todos mis logros.

A Regina y Sebastián, por darme la dicha de ser padre y guía, y por ser el mejor incentivo para lograr mis metas.

A Omar, por su ayuda y sus consejos, y por ser más que mi hermano, mi mejor y único amigo.

A Mónica y Rocío, por su cariño y por ser parte esencial de mi existencia.

José Antonio Aguilar Chávez.

A mis padres por ser un gran ejemplo de esfuerzo y perseverancia.

A mi esposo y mis hijos por ser ese gran motor de motivación.

A mis hermanos Carlos y Elsa por su confianza y cariño.

Sandra Lilia Castillo Flores

A mis padres, a mi hermano, a mi esposa y a mis hijos
con el más profundo agradecimiento por su apoyo y confianza.

Alejandro Rafael López López

A mis padres, quienes me dedicaron su vida y me enseñaron el camino de la verdad.

A mi esposa, quien es mi vida entera.

A mis hijos Oscar y Santiago, quienes son mi alegría, mi fe, mi amor y mi motivación.

Felipe de Jesús Martínez Sánchez

A mis padres,hermanos, a mi esposa y a mis hijos.

Roberto Peltier Saburit

Diseño de una Mezcladora de Gases para Soldadura

ÍNDICE

Introducción.	10
Capítulo I. Procesos de Soldadura.	12
1.1 Generalidades	12
Soldadura por presión	13
Soldadura por fusión	15
Daños del aire en uniones realizadas sin protección	20
Defectos existentes en una unión soldada	21
1.2 El proceso de soldadura TIG	23
Máquinas soldadoras	23
Electrodos	28
1.3 El proceso de soldadura MIG	30
Equipo para el proceso MIG	31
Capítulo II. Análisis de alternativas para el suministro de mezclas de gases.	35
2.1 Cilindros de alta presión	35
2.2 Mezclas comerciales de gases	36
Mezclas con Helio (He) para TIG y MIG	38
Soldadura TIG y MIG	38
2.3 Otros dispositivos	41
2.4 Análisis económico de las instalaciones previas con el proyecto de la mezcladora de gases.	42

Capítulo III. Medición de fluidos	44
3.1 Propiedades de los fluidos	44
Temperatura	44
Presión	45
Masa, Fuerza y Peso	46
Densidad	47
Peso específico	47
Volumen específico	48
Viscosidad	48
Número de Reynolds	49
3.2 Tipos de fluidos	50
3.3 Dinámica de los gases	51
Perfil de velocidad	52
Flujo de masa	53
Ecuación de continuidad	54
Flujo uniforme	55
Ecuación de movimiento	56
3.4 Teoría de flujo de fluidos en tuberías	60
Velocidad de flujo límite de gases en una tubería	60
Consideraciones para el flujo en tuberías	62
3.5 Medición del gasto con base en la caída de presión en dispositivos convergentes	80
Caudalímetros de área de paso constante	81
Capítulo IV. Diseño conceptual del mezclador de gases	82
4.1 Especificaciones requeridas	82
4.2 Definición de sistemas	83
4.2.1 Sistema de admisión	84
4.2.2 Sistema de tuberías	85
4.2.3 Sistema de control	86
4.2.4 Sistema de almacenamiento	90
4.2.5 Sistema de medición	90
4.2.6 Sistema de calibración	91
4.2.7 Sistema eléctrico	92
4.2.8 Sistema de seguridad	92
4.2.9 Sistema de suministro	94
4.4 Propuesta conceptual	95
Descripción de la línea de gas mayor	96
Descripción de la línea de gas menor	96

Capítulo V. Desarrollo del proyecto del mezclador de gases	97
5.1 Planteamiento del diseño	97
5.2 Cálculo de la pérdida de presión en el ramal de suministro	98
Cálculos en la tubería de suministro	98
Cálculo de la caída de presión en válvulas y accesorios	105
Pérdida de presión total	108
5.3 Cálculos para los elementos de la mezcladora de gases	109
5.4 Flujo requerido de mezcla	109
5.5 Selección de materiales para el proyecto de la mezcladora	110
5.5.1 Propuesta de la línea de gas mayor	110
5.5.2 Propuesta de la línea de gas menor	121
5.5.3 Propuesta de la línea de gas mezclado	123
5.5.4 Propuesta del tanque almacenador	126
5.5.5 Propuesta del sistema de medición	127
5.5.6 Propuesta del sistema de calibración	129
5.5.7 Propuesta del sistema de seguridad	132
Conclusiones	134
Capítulo VI. Programa de ensamble de la mezcladora y manual de instalación	135
Programa de ensamble	135
Recomendaciones para la instalación	140
Instrucciones de operación	141
Conclusiones	143
Bibliografía	145
Anexo A-1. Coeficientes de resistencia para tuberías y accesorios	147

Introducción.

Dentro de los procesos generales de soldadura existe siempre la posibilidad de que la unión de los metales se vea contaminada o químicamente alterada por el efecto de compuestos presentes en el aire circundante a la zona de soldado, provocando problemas en las uniones que pueden variar desde una unión porosa y débil, hasta generar fragilidad en los materiales unidos.

Para solventar estos problemas, algunos procesos de soldadura sustituyen la atmósfera natural, rica en oxígeno, nitrógeno y agua, con atmósferas inertes compuestas por la combinación de gases nobles o de dióxido de carbono, cuya afinidad química con los materiales a soldar sea nula o deliberadamente benéfica.

Esto es especialmente importante, por ejemplo, en la construcción de tanques de almacenamiento para combustibles, químicos, agua potable o alimentos, en donde cada una de la gran variedad de aplicaciones que se tienen, impone diversos estándares de calidad a los cordones de soldadura, y propiedades mecánicas, electromagnéticas y químicas que garanticen la integridad de los recubrimientos que posteriormente se aplican y de los materiales que han de contener.

Por lo tanto, considerando la relación que existe entre la naturaleza de los materiales a soldar y el efecto que se quiere obtener como resultado, se tiene que las características de la atmósfera necesaria, esto es, la proporción de los gases que la componen, se determine y suministre adecuadamente.

Para esto, actualmente se cuenta con diversas posibilidades comerciales, que van desde la compra de tanques con mezclas de gases específicas y/o de línea, a la adquisición de mezcladoras que permitan componer la relación de gases adecuada.

Las alternativas comerciales, sin embargo, encierran para la industria las limitantes del tiempo de espera para resurtido de las mezclas, la nula capacidad para modificar las proporciones de los

gases en dichas mezclas, el alto costo tanto de productos no comerciales, como de adquisición y mantenimiento de mezcladoras comerciales, que en su mayoría son importadas.

Con base en lo anterior, el presente trabajo tiene como objetivo diseñar una mezcladora de gases eficiente y de bajo costo, que permita al usuario realizar sus propias mezclas de gases para soldadura de acuerdo a sus necesidades de proceso, costo y tiempo, evitando así la compra de mezclas específicas.

Para ello, y como fundamento, se analiza la problemática actual de los procesos de soldadura en la industria; los procesos de soldadura TIG y MIG en los que se pretende aplicar los beneficios de la mezcladora; los productos comerciales para evaluar la viabilidad económica del diseño; los conceptos de dinámica de fluidos para el diseño óptimo del equipo; los distintos sistemas que integran a la mezcladora, y el programa de fabricación adecuado.

Como resultado de esta propuesta, se espera obtener el diseño de una mezcladora de gases que cumpla con los objetivos de eficiencia y bajo costo, que puede ser fácilmente incorporada en diversas plantas productivas del país y que repercuta favorablemente en la calidad del producto final de los procesos de soldadura industriales.

Capítulo I. Procesos de Soldadura.

El objetivo de este capítulo es brindar un panorama general de los procesos de soldadura TIG y MIG que están directamente relacionados con el objetivo de la presente propuesta.

1.1 Generalidades

Uno de los procesos industriales más empleados en cualquier industria en la que se utilicen metales es el de soldadura.

La soldadura es un proceso metalúrgico en el que se unen mecánicamente piezas metálicas mediante la aplicación de calor, presión o una combinación de ambas, empleando o no un material metálico de aporte con un punto de fusión inferior al de las piezas a soldar.

El uso de la soldadura inició cuando los avances tecnológicos permitieron substituir con este proceso al de unión mecánica por remaches o tornillos que se utilizó hasta inicios del siglo XX. En dicho proceso, conocido como forja, la unión de piezas de hierro, por ejemplo, requerían calentar el metal hasta su punto plástico y poder así insertar los remaches por medio de golpes.

El proceso de soldadura se puede clasificar en dos grandes grupos de acuerdo a las fuentes de presión y de calor empleadas: soldadura por presión y soldadura por fusión.

El proceso de soldadura por presión no emplea material de aporte y se auxilia del uso de calor utilizando una presión lo suficientemente alta como para unir los materiales, de esta manera, en la unión se pueden conservar las propiedades de los materiales a soldar.

La soldadura por fusión, por otro lado, consiste en calentar los materiales de base (materiales a soldar) y los de aporte a una temperatura adecuada fundiéndolos en forma conjunta para lograr que la unión tenga propiedades químicas y mecánicas similares a las del metal base.

El calor necesario para unir las piezas se puede obtener mediante diversos métodos, ya sea por combustión o mediante energía eléctrica aplicando el efecto Joule.

A continuación se detallan cada uno de los procesos de soldadura por presión y por fusión.

Soldadura por presión

Como se mencionó anteriormente, este método abarca a todos los procesos en los que se emplea presión sin aporte de material, como son: soldadura por resistencia, soldadura por fricción, soldadura por fragua, soldadura por inducción y soldadura por gas.

Soldadura por resistencia

En este método se aplica el efecto Joule al hacer circular corriente eléctrica a través de un conductor, el que genera calor debido a la resistencia al flujo eléctrico. Para ello, se aplican electrodos en los extremos de las piezas a soldar, las que se encuentran unidas con juntas a presión, provocando que en la unión de ambas la resistencia sea mayor que en el resto de sus cuerpos, generando así, un aumento de temperatura que permita la soldadura.

Este método es aplicable a casi todos los metales, exceptuando al estaño, zinc y plomo, y se emplea en gran medida en la industria de fabricación de láminas y alambres.

Soldadura por fricción

En este proceso el calor se obtiene de la fricción generada entre las piezas a unir, una de las cuales está fija y la otra rota a alta velocidad en contra de la primera. Una vez alcanzada la temperatura adecuada, se frena la pieza giratoria y se ejerce presión a ambas piezas quedando así soldadas.

Soldadura por fragua

Este es el proceso de soldadura más antiguo que se conoce, y consiste en calentar las piezas en una fragua hasta llegar a su estado plástico y después unir las por medio de presión o golpes. Su uso se limita a piezas de pequeñas dimensiones y en forma de lámina.

Una de los aspectos de mayor importancia es evitar la oxidación; para ello se emplean aceites gruesos con un fundente, generalmente bórax con sal de amonio.

Las limitantes de este método y la existencia de otros más eficientes, han hecho que esta técnica sea cada vez menos utilizada en la industria.

Soldadura por inducción

Este método de soldadura emplea el calor generado por la resistencia que ofrecen las piezas a unir al flujo de la corriente eléctrica inducida, y generalmente la unión se logra también con presión.

En este proceso se conecta una bobina a los metales a unir y debido a que en la unión de los metales se da más resistencia al paso de la corriente inducida, es en esa parte en la que se genera una alta temperatura, lo que aunado a la presión que se ejerce, se logra la unión de las piezas.

Esta técnica utiliza frecuencias entre los 400 y 450 [Hz], y la soldadura por inducción de alta frecuencia puede usar corriente eléctrica en el rango de los 200 a 500 [kHz].

Soldadura por gas

La soldadura por gas o con soplete utiliza el calor de la combustión de un gas o una mezcla gaseosa que se aplica a las superficies de las piezas, para posteriormente aplicar presión con la fuerza suficiente para generar la unión.

Soldadura por fusión

La soldadura ordinaria, conocida como de aleación, emplea un material de aporte que se funde y se adhiere a las piezas base. Dependiendo de la temperatura de fusión del material de aporte y de la resistencia de la aleación utilizada, se distinguen dos tipos de soldadura: la soldadura blanda y la soldadura fuerte.

En la soldadura blanda se unen las piezas por medio de un metal de aporte, generalmente una aleación de plomo y estaño, ocasionalmente con pequeñas cantidades de bismuto que se aplica entre las piezas en estado líquido logrando así la adherencia.

Para aplicar el material de aporte se emplea un caudín que funde la aleación y ésta fluye por capilaridad. El punto de fusión de los metales de aporte oscila entre los 180 y 370 [°C], no llegando a sobrepasar los 430 [°C].

Este método es ideal para piezas que no serán sometidas a grandes esfuerzos, siendo sus principales aplicaciones en la unión de elementos eléctricos.

En el proceso de soldadura fuerte también se emplea un material de aporte no ferroso en estado líquido, generalmente aleaciones de: plata, cobre y zinc; de cobre y zinc; o de aluminio.

El punto de fusión de los materiales de aporte es mayor a los 430 [°C] pero menor al punto de fusión del material base. El material de aporte se puede aplicar de 4 maneras diferentes: por inmersión, por horno, por soplete o por electricidad.

En el método de inmersión, el material de aporte se tiene previamente fundido y se introduce entre las piezas a soldar, quedando éstas unidas una vez que el material de aporte solidifica.

Cuando se emplea un horno, el material de aporte se coloca en estado sólido entre las piezas que se van a unir y todo el material se mete a un horno en el que se fundirá únicamente el material de aporte, el que al solidificar generará la unión de las piezas.

Para el proceso de soldadura con soplete, el calor se aplica de manera local en las partes del metal que serán unidas; el material de aporte que está en forma de alambre se coloca entre la unión de los materiales a soldar y queda fundido al aplicarle calor. Este proceso también es conocido como soldadura por gas.

El calor para fundir el material de aporte también puede ser obtenido mediante electricidad, para ello se emplea soldadura por arco.

Soldadura por vaciado

El proceso de soldadura por vaciado, también llamado colado, consiste en fundir material del mismo que se va a soldar, vaciarlo entre las partes a unir y dejándosele enfriar lentamente. En ocasiones este método es empleado para reparar piezas fundidas.

Soldadura aluminotérmica

Al mezclar óxido de hierro con partículas de aluminio muy finas se obtiene una reacción química que genera el calor necesario para fundir este material de aporte. Este proceso se emplea para soldar fracturas y cortes en piezas de gran peso de hierro y acero como por ejemplo: los rieles de los trenes, los engranes de los trenes de laminación de los ingenios azucareros, etcétera.

Soldadura por gas

La soldadura por gas o con soplete incluye a todas las soldaduras que emplean gas para generar la energía necesaria para fundir el material de aporte por medio de la combustión de dicho gas.

Dependiendo de la mezcla gaseosa empleada existen dos tipos de soldadura: soldadura oxiacetilénica, en donde se emplea oxígeno y acetileno, y soldadura oxhídrica, donde se utiliza oxígeno e hidrógeno.

La soldadura oxhídrica se obtiene mediante la combinación de oxígeno e hidrógeno. En este proceso se genera una temperatura que oscila entre 1500 y 2000 [°C].

La soldadura oxiacetilénica llamada autógena se obtiene con la la mezcla en un soplete de un gas combustible, el acetileno, y un comburente, el oxígeno. Cuando se emplea material de aporte para soldar, éste se aplica en forma de varilla.

En los sopletes de soldadura autógena se pueden obtener tres tipos de llama: reductora, neutral y oxidante. La llama neutral es la de mayor aplicación. Esta llama, está balanceada en la cantidad de acetileno y de oxígeno que se utiliza. La temperatura en su cono luminoso es de 3500 [°C], en el cono envolvente alcanza 2100 [°C] y en la punta extrema llega a 1275 [°C].

En la llama reductora o carburizante hay exceso de acetileno, lo que genera que entre el cono luminoso y el envolvente exista un cono color blanco cuya longitud está definida por el exceso de acetileno. Esta llama se utiliza para la soldadura de níquel, ciertas aleaciones de acero y muchos de los materiales no ferrosos.

La llama oxidante tiene la misma apariencia que la neutral, excepto que el cono luminoso es más corto y el cono envolvente tiene más color. Esta llama se utiliza para la soldadura por fusión del latón y el bronce.

En algunas ocasiones en la soldadura autógena se utiliza aire como comburente, lo que produce que la temperatura de esta llama sea menor en un 20% que la que usa oxígeno, por lo que su uso es limitado a la unión de sólo algunos metales como el plomo.

Soldadura por arco eléctrico

La energía calorífica para este proceso se obtiene por medio de un arco eléctrico que se forma entre la pieza y un electrodo que sirve también como material de aporte. En este proceso se genera una temperatura superior a los 5500 [°C].

La corriente empleada en este tipo de soldadura puede ser directa o alterna; sin embargo, es conveniente emplear corriente directa, pues con ésta se puede lograr un arco estable debido a que es más constante.

Para generar el arco existen varios tipos de electrodos: de carbón, metálicos y recubiertos. Los electrodos de carbón son cada vez menos utilizados ya que éste se emplea sólo como conductor y hay que agregar un material de aporte; los electrodos metálicos se emplean como material de aporte derritiéndose en las piezas a soldar, y finalmente los electrodos recubiertos, que son electrodos metálicos con una cubierta para mejorar las características de la soldadura, como son: proporcionar una atmósfera protectora, estabilizar el arco, añadir elementos de aleación al metal de la soldadura, eliminar impurezas y óxidos, entre otras.

Soldadura por arco con gas protector

En un proceso de soldadura de arco cubierta con gas, el gas es utilizado como una protección alrededor del arco para prevenir la contaminación de la unión por la atmósfera circundante. En este proceso, al igual que en el anterior, el calor se obtiene por el arco generado entre el material y un electrodo, pero la diferencia radica en que en este método el electrodo se encuentra protegido por una copa, por la que se inyecta un gas inerte como el argón, el helio o el bióxido de carbono, con esto se logra tener un arco protegido contra la oxidación y además perfectamente controlado.

Originalmente el proceso de soldadura de arco cubierta con gas fue desarrollado para evitar la corrosión y para la unión de metales difíciles de soldar. Hoy en día estos procesos se utilizan para todo tipo de metales, desplazando a los procesos comunes de soldadura de arco y de oxiacetileno, por la mejor uniformidad de la unión, la facilidad del proceso y el aumento de velocidad de producción. Adicionalmente el proceso manual puede automatizarse y utilizarse para unir metales ferrosos y no ferrosos.

El resultado de este proceso son uniones más fuertes, más dúctiles y más resistentes a la corrosión en comparación con los demás métodos; así mismo, simplifica la unión de los metales no ferrosos debido a que no requiere de fundente, el que requiere retirar el residuo de éste después de terminada la operación, con la alta probabilidad de que ocurran incrustaciones de escoria y se desarrollen bolsas de aire en la unión, más aún si es necesario aplicar varios cordones de soldadura, uno sobre otro.

Otra ventaja de la soldadura de arco con protección de gas al electrodo, es la mejor visión del proceso en su totalidad, debido a la eliminación de los humos originados por la presencia de oxígeno y otros químicos presentes en el recubrimiento del electrodo. Más importante aún es la limpieza lograda en el proceso, la que es superior a cualquier otra técnica.

Adicionalmente, la soldadura se puede realizar en cualquier posición, obteniendo una superficie más uniforme, logrando disminuir los costos al minimizar la eliminación de rebabas y los procesos de acabado; también se disminuye la distorsión del metal en la frontera con la soldadura.

Existen dos tipos de soldadura por arco protegido y que son el objeto principal de esta propuesta: el proceso de soldadura TIG y el proceso MIG. Ambos tipos son explicados más a detalle en apartados posteriores dentro de este capítulo.

Daños del aire en uniones realizadas sin protección

En un proceso de soldadura es recomendable que el aire sea desplazado del área del arco por un gas protector con el propósito de evitar la exposición del metal fundido a una atmósfera oxidante.

Por volumen, el aire está constituido por un 21% de oxígeno, 78% de nitrógeno, 0.9% de argón, 0.04% de otros gases, principalmente bióxido de carbono, y una cantidad considerable de agua, dependiendo del grado de humedad. De los elementos existentes en el aire, son tres los que causan dificultades para realizar un proceso de soldadura y éstos son: el oxígeno, el nitrógeno y el hidrógeno.

El oxígeno es un elemento altamente reactivo y se combina con otros elementos para formar en el metal óxidos y gases. Los óxidos que se forman en la superficie del metal pueden eliminarse mediante el uso de desoxidantes en el proceso de soldadura; los desoxidantes, como el manganeso y el silicio, combinados con el oxígeno, forman una escoria ligera que flota hasta la superficie de la soldadura. Si estos desoxidantes no se utilizan, el oxígeno se combina con el metal disminuyendo sus propiedades mecánicas. De igual forma, el oxígeno liberado cerca del área del arco se combina con el carbono de la aleación del material formando monóxido de carbono; si este gas es atrapado por la soldadura crea espacios y porosidades en la unión.

En el caso de la unión de aceros, el nitrógeno es el elemento que causa más serios problemas, ya que, si bien el nitrógeno tiene muy poca solubilidad en el metal a temperatura ambiente, durante el proceso de soldadura se precipita como nitruro; estos nitruros causan la formación de esfuerzos residuales incrementando la dureza pero disminuyendo la ductilidad y la resistencia al impacto, lo que hace extremadamente frágil el área cercana a la unión.

El hidrógeno, a su vez, interfiere en dos puntos principales: en el arco, que por su efecto no se genera correctamente, y en los depósitos de soldadura, en donde al ser atrapado por el metal, genera grandes presiones y un aumento de los esfuerzos internos, provocando pequeñas fisuras en el metal que con el tiempo tienden a crecer.

Los efectos que el oxígeno, el nitrógeno, y el hidrógeno producen al material, hacen necesaria su exclusión del área de unión durante la soldadura. Esto es posible mediante el uso de gases inertes para la protección, cuya estabilidad atómica los hace difíciles de reaccionar químicamente con otros elementos y compuestos.

En la naturaleza existen sólo seis elementos que poseen esta estabilidad y presentan la característica de encontrarse en estado gaseoso: el helio, el neón, el argón, el kriptón, el xenón y el radón. De ellos, el helio y el argón son de suma importancia para la industria de la soldadura debido a que son los únicos que se pueden obtener en cantidades industriales y a precios económicos.

El dióxido de carbono también se utiliza como gas de protección. Si bien éste no es un gas inerte, presenta propiedades idóneas para eliminar las tendencias oxidantes durante el proceso de soldadura.

Defectos existentes en una unión soldada

Los procesos de soldadura deben contar con un control apropiado para lograr una alta calidad en sus uniones, que garanticen las propiedades mecánicas y químicas que se esperan de dicha unión. En el caso de que sucedan alteraciones durante el proceso de soldado, pueden generarse defectos en la soldadura, como los que se muestran a continuación.

Superficies porosas

Las superficies porosas, como la que se muestra en la figura 1.1, generalmente son el resultado de la contaminación atmosférica causada por el uso incorrecto del flujo del gas de protección. Si la cantidad de gas no es suficiente, el área de soldado no se aísla completamente de la atmósfera, y si, por el contrario, el flujo del gas es excesivo, se generan turbulencias en el aire que impiden la protección total de la unión. Este efecto se presenta cuando la soldadura se realiza en la presencia

de mucho viento, cuando la boquilla tiene obstrucciones o con la presencia de pinturas o grasa en el área de unión.

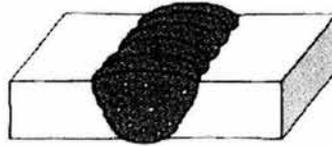


Figura 1.1 Superficie porosa

Falta de penetración

Este problema, ejemplificado en la figura 1.2, se presenta principalmente por una mala alineación de las superficies a unir, una falta de corriente, por el deterioro excesivo del electrodo utilizado o por una técnica indecuada.

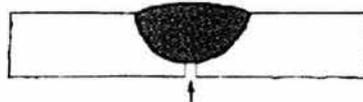


Figura 1.2 Falta de penetración

Salpicado

Este fenómeno, ilustrado en la figura 1.3, ocurre cuando el uso de un gas incorrecto, provoca que parte del material de aporte se deposita alrededor de la unión en forma de gotas.

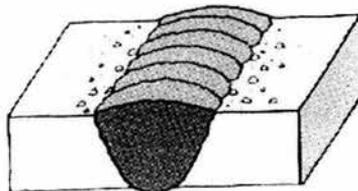


Figura 1.3 Salpicado

Como se mencionó anteriormente, entre los procesos de soldadura con protección de gas más importantes se encuentran: el proceso TIG, soldadura con protección de gas inerte y electrodo de tungsteno sin material de aporte, y el proceso MIG, soldadura con protección de gas inerte y electrodo con aporte al metal soldado.

Cada uno de estos procesos tiene sus propias ventajas, y en ambos se obtienen uniones con alta penetración y relativamente libres de contaminación atmosférica. Muchos metales industriales pueden soldarse fácilmente con cualquiera de estos dos procesos, incluyendo metales como el aluminio, magnesio, acero al carbón, acero inoxidable, cobre, níquel, monel, inconel y titanio entre otros.

Los dos procesos pueden ser semiautomáticos o automáticos; en el proceso semiautomático el operador controla la velocidad, trayectoria y dirección del cordón de soldadura; mientras que en el proceso automático el ancho del cordón de soldadura, el largo, el rango de trayectoria, y los puntos de inicio y fin del proceso son controlados por el equipo de soldadura.

1.2 El proceso de soldadura TIG

En este proceso se utiliza un electrodo no consumible de tungsteno que crea el arco para la soldadura, y protegiendo el área de soldadura con una capa de gas que previene la oxidación del electrodo, de la unión soldada y del área caliente afectada.

Máquinas soldadoras

Cualquier máquina de soldar, como la que se muestra en la figura 1.4, sea de corriente alterna o de corriente directa, puede ser utilizada para suministrar el flujo eléctrico necesario para el proceso de soldadura TIG; tomando en cuenta que el generador o transformador debe tener un buen control en el suministro de baja corriente para mantener estable el arco, especialmente en soldaduras delgadas.

Una máquina de corriente alterna debe estar equipada con un generador de alta frecuencia para suministrar corriente positiva, esto es debido a que cuando la corriente cambia de sentido, existe un intervalo en el que no fluye corriente, produciendo un arco inestable. El generador de alta frecuencia aumenta el flujo de corriente estabilizando el arco.

Existen máquinas especialmente diseñadas para la soldadura con electrodo de tungsteno y protección de gas inerte.

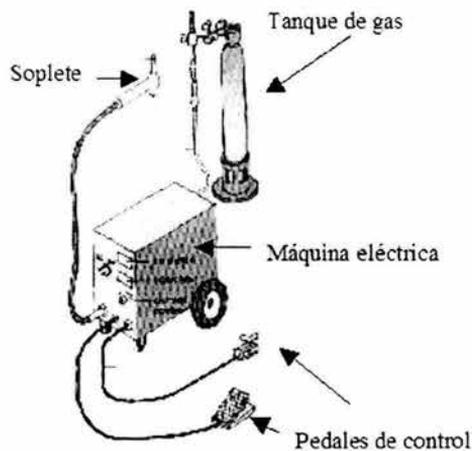


Figura 1.4 Máquina de soldar común

La decisión entre escoger una máquina de corriente alterna o una de corriente directa, depende de las características y la capacidad requerida por el tipo de metal trabajado, debido a que algunos metales obtienen mejores resultados en sus uniones soldadas con diferente tipo de equipo.

Soldadura con máquinas de corriente directa

Con corriente directa, el circuito de soldadura puede ser positivo o negativo. Cuando la máquina se conecta para trabajar con polaridad positiva, el flujo de electrones se presenta con dirección del electrodo hacia el metal; mientras que utilizando polaridad negativa, el flujo de electrones va del metal hacia el electrodo, ocasionando una gran concentración de calor en el electrodo, lo que ablanda su punta y contamina la soldadura.

La polaridad negativa también afecta a la unión debido a que logra poca penetración; por esta razón, este método se usa en uniones de aluminio y magnesio, ya que estos metales son afectados por un denso recubrimiento de óxido que es removible fácilmente al conectar la máquina con dicha polaridad.

Dicha acción limpiadora se desarrolla cuando se presenta un ataque de iones positivos sobre la carga negativa de la pieza de trabajo; cuando estos iones chocan con la pieza formando el arco, poseen la suficiente fuerza para romper la capa de óxido y desprenderla de la superficie.

La polaridad positiva en máquinas de corriente directa es utilizada para la soldadura de la mayoría de los metales, dado que con el calor concentrado en la unión, el proceso es más rápido, lo que provoca poca alteración en las propiedades del metal, requiere de electrodos con menor diámetro, y la soldadura es más profunda y angosta.

Soldadura con máquinas de corriente alterna

La soldadura con máquinas de corriente alterna es un proceso que presenta una combinación de soldadura con máquina de corriente directa con polaridad positiva, en el ciclo superior, y con polaridad negativa en el ciclo inferior; como ya se mencionó antes se presenta la necesidad de incorporar un equipo de alta frecuencia, ya que al rectificar la onda de corriente alterna se crean lapsos de tiempo en los que no existe flujo de corriente, y se presenta la inestabilidad del arco con la posibilidad de la pérdida total de éste.

Equipo convencional de soldadura

Adicionalmente a los generadores de corriente eléctrica mencionados anteriormente, un equipo de soldadura convencional, tiene los siguientes componentes principales:

Antorcha o soplete

Los sopletes manuales están contruidos para conducir tanto la corriente eléctrica como el gas inerte a la zona de soldadura; éstos pueden ser enfriados por aire o por un sistema de agua. Los sopletes enfriados únicamente por aire son los que se utilizan con soldaduras que requieren de bajo nivel de corriente; los enfriados por sistema de agua se recomiendan cuando la corriente eléctrica es superior a los 200 [A]; en éstos, la circulación del agua a través del soplete lo mantiene alejado del sobrecalentamiento.

En el interior del soplete, el electrodo de tungsteno se encuentra sujeto rígidamente por unas mordazas apretadas por un tornillo. El gas es suministrado a la zona de soldadura a través de una boquilla de cerámica que controla la dirección y distribución del gas inerte; estas boquillas son intercambiables para proveer una variedad más amplia de rangos de flujo de gas.

En la figura 1.5 se muestran dos tipos comunes de sopletes.

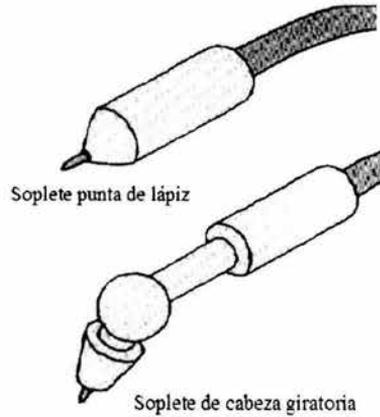


Figura 1.5 Tipos de sopletes

Algunos sopletes están equipados con guías para eliminar las turbulencias en el gas protector. Estas guías tienen una barrera permeable concéntrica formada por una malla de acero inoxidable que se ajusta en el orificio, tal y como se muestra en la figura 1.6.

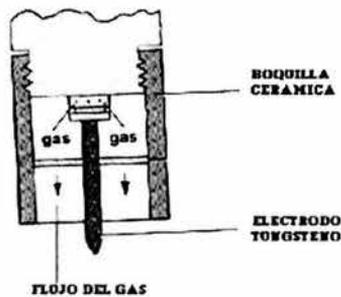


Figura 1.6 Soplete con guías de gas

Algunos equipos tienen el control de flujo de gas y corriente en el mismo soplete, y otros equipos utilizan un control de pedal; éste último tiene como ventaja un mejor control del flujo de corriente al término de la operación.

Electrodos

Los electrodos están hechos de tungsteno, o aleaciones de tungsteno, con 1 ó 2% de torio o zirconio. La adición de torio disminuye la capacidad de la corriente y la emisión de electrones, mantiene la punta del electrodo fría hasta cierto nivel de corriente, minimiza el movimiento del arco alrededor de la punta del electrodo, permite una fácil generación del arco, y no se contamina con el contacto accidental del electrodo con la pieza de trabajo. Esta adición se utiliza principalmente para unir metales especiales de la industria espacial y aeronáutica.

La forma del electrodo es de suma importancia durante el proceso de soldadura, siendo de punta redondeada si la corriente eléctrica a usar es alterna, y de punta en “v” si es corriente directa.

Adicionalmente debe escogerse adecuadamente el tipo de gas que se ha de emplear para aislar la zona de unión; para ello, se consideran los metales a soldar y el tipo de corriente eléctrica a utilizar. En la tabla 1.1 se muestran los gases recomendados de acuerdo a estos criterios.

Metal	Proceso de soldadura	Gas de protección	Ventajas
Aluminio y sus aleaciones	Manual-continuo	Ar	Mejora la calidad del arco, mejora la acción limpiadora y disminuye el consumo de gas.
		He	Aumento de la velocidad del proceso al máximo.
	Máquina-continuo	Ar – He	Ahorro del flujo de gas con respecto del necesario utilizando sólo helio.
Magnesio y sus aleaciones		Ar	Controla la penetración, la acción limpiadora es excelente y disminuye el flujo de gas.
		He	Buena penetración, la que mejora considerablemente con el uso de corriente directa.

Tabla 1.1 Selección de gases para soldadura en el proceso TIG

Continuación de la tabla I.1.

Metal	Proceso de soldadura	Gas de protección	Ventajas
Acero al carbón	Manual – continuo	Ar	Fácil manejo, libre de sobrecalentamiento, adecuado para soldadura de posiciones.
	Máquina - continuo	Ar – He	Mejor penetración principalmente en metales con mayor espesor; su uso depende de la preparación de la unión.
Cromo austenítico	Manual - continuo	Ar	Permite control en la penetración de espesores delgados.
Níquel y acero inoxidable	Manual - continuo	Ar – He	Gran velocidad y calor para espesores gruesos.
	Máquina - continuo	Ar – He – H (35% máx)	Requiere de bajo flujo de gas, provee gran cantidad de calor y a la vez una penetración más profunda.
Cobre y Níquel	Máquina - continuo	Ar	Penetración y fino acabado en espesores delgados
Aleaciones de cobre y aleaciones de níquel	Máquina - continuo	Ar – He	Mayor calor y conductividad en espesores densos.
		He	Máxima obtención de calor para lograr alta velocidad de soldadura en secciones pesadas del metal.
Titanio y sus aleaciones	Máquina - continuo	Ar	Con bajos rangos de flujo de gas se minimiza la turbulencia y la contaminación de aire.
		He	Mejor penetración en la unión de secciones con espesores pequeños.

1.3 El proceso de soldadura MIG

Como ya se mencionó anteriormente el proceso MIG utiliza un electrodo consumible y la protección total del área de la unión por una atmósfera inerte proporcionada por un gas. Tanto el electrodo como el gas son suministrados a través del soplete a velocidades controladas, y el proceso puede ser semiautomático o totalmente automático.

A continuación se mencionan las ventajas más significativas que tiene la utilización del proceso MIG:

- Presenta una reducción de costos al no tener que utilizar un proceso por separado de limpieza de la unión.
- El entrenamiento del personal es más sencillo, debido a que en el proceso sólo tiene que fijarse en el ángulo de soldadura y en la velocidad para completar la unión.
- El proceso es más rápido y no es necesario detenerlo para cambiar el electrodo, evitando así contaminación por escoria en la unión.
- Dada su alta velocidad, se obtienen beneficios de tipo metalúrgico en la unión; así como la disminución del área afectada por el calor, evitando la alteración de las propiedades del metal.
- El uso de bajo voltaje es de suma relevancia para la unión de piezas delgadas.

Los diferentes tipos de corriente eléctrica dan como resultado diversos acabados en la superficie, siendo óptimo el uso de una máquina de corriente directa con la polaridad invertida, la que consigue una alta penetración en la unión debido a la alta concentración de calor en la zona de soldadura, así como también una excelente acción limpiadora, importante en la unión de metales tales como el aluminio y el magnesio que poseen una capa pesada de óxido.

Contrariamente a lo anterior, la polaridad positiva con corriente directa se presenta impráctica por la poca penetración, la ausencia de acción limpiadora, y el aumento de la zona afectada por el

calor en el proceso. De igual forma, el uso de corriente alterna no es recomendable, debido a que en la mitad del ciclo se comporta como corriente directa con polaridad positiva.

En el proceso de soldadura con electrodo consumible, la transferencia del metal se realiza de tres maneras: por transferencia atomizada, globular, o de corto circuito; la selección del tipo de transferencia depende de las características del electrodo, del gas inerte de protección, del arco de voltaje utilizado y de la cantidad de corriente a emplear.

Equipo para el proceso MIG

El equipo necesario para el proceso MIG posee cuatro componentes principales: la fuente de poder, el mecanismo de alimentación del alambre, el soplete o antorcha, y el suministro de gas protector.

Fuente de poder

La máquina recomendada para el proceso MIG, es la que posee un rectificador o un generador de corriente continua con límites entre 200 y 250 [A]. La corriente directa con la polaridad invertida es utilizada para obtener una alta eficiencia, ya que contribuye a obtener un mejor punto de fusión, mayor penetración y una excelente acción limpiadora.

Mecanismo de alimentación del electrodo

Este mecanismo provee el alambre del electrodo directamente y en forma automática del carrete de alambre hacia el soplete y el arco. En el panel de control, es posible ajustar la velocidad de alimentación del alambre; este panel incluye también un relevador y un solenoide para energizar el flujo del gas. En unidades provistas de sopletes enfriados por agua, existe un control disponible para suministrar el flujo del enfriador.

Soplete

La función del soplete es la de alimentar el alambre, el gas protector y la corriente eléctrica hacia el área del arco. Los sopletes enfriados por aire están diseñados para hacer uniones ligeras con corrientes de 200 [A] y utilizando argón como gas de protección. El soplete también puede utilizar corrientes alrededor de los 300 [A], utilizando bióxido de carbono como gas de protección, debido a los efectos refrigerantes de este gas. El soplete enfriado con agua tiene mejores resultados cuando se utilizan corrientes menores a los 200 [A].

El soplete posee control para la alimentación del alambre así como también el flujo del gas de protección y del agua. En algunos equipos incluye un temporizador que permite el flujo del gas protector por un tiempo predeterminado para proteger la unión hasta la solidificación.

Suministro del gas de protección

Para la mayoría de las aplicaciones, el flujo de gas de protección establecido es aproximadamente de 35 [ft³/hr], teniendo incrementos o decrementos, dependiendo de la aplicación específica.

El uso de una cantidad de gas apropiada, evita la formación de dislocaciones, porosidades y escoria; así mismo, la trayectoria del flujo de gas debe tener la misma dirección que el cordón que se está realizando.

La boquilla debe estar ajustada para proporcionar una correcta cobertura del área de unión y, así, eliminar las influencias externas. La posición de la boquilla, se determina por el tipo de unión; en general la boquilla se coloca a 5 centímetros de la unión, debido a que a una mayor distancia, se empobrece la protección, y a una distancia muy corta la vida de la boquilla se reduce.

El alambre utilizado para el proceso MIG es del mismo tipo del material a unir y su alimentación se limita a un determinado rango que depende del tipo de corriente eléctrica empleada,

considerando también que una alta velocidad de alimentación del alambre proporciona un arco corto, y una velocidad baja contribuye a la creación de un arco largo.

La selección del gas protector depende directamente de los materiales a unir. A diferencia del proceso TIG, el proceso MIG no depende del tipo de corriente, ya que se usa sólo corriente directa con polaridad invertida. En la tabla 1.2 se indican los gases recomendados para la unión de ciertos metales con el proceso MIG.

Metal	Gas de protección	Ventajas
Aluminio	Ar	Para grosores en el rango de 0 a 1 pulgada mejora la estabilidad del arco. Mejora de la acción limpiadora y la transferencia de metal.
	35 % Ar 65 % He	Para grosores en el rango de 1 a 3 pulgadas se genera un aumento considerable en la cantidad de calor en la unión.
	25 % Ar 75 % He	Para anchos mayores a 3 pulgadas, el incremento de calor elimina el defecto de la porosidad.
Magnesio	Ar	Excelente acción limpiadora.
Acero al carbón	Ar, O (3 - 5 %)	Permite la práctica de altas velocidades comparado con el uso de sólo argón.
	CO ₂	Disminuye el costo de la soldadura manual con la utilización de máquinas con alta velocidad.
Acero inoxidable	Ar, O (1%)	Mejora la estabilidad en el arco, permite control y más fluidez en la unión.
Acero inoxidable	Ar, O (2%)	Incrementa la velocidad para aceros inoxidables delgados que utilizando la mezcla de 1%.
Cobre, Níquel y sus aleaciones	Ar	Disminuye la fluidez del material de aporte para anchos mayores de un octavo de pulgada.
	Ar, He	Se genera mayor calor para las mezclas con 50 y 75 % de helio, favorable para espesores mayores.
Titanio	Ar	Buena estabilidad en el arco, minimiza la contaminación en la unión pero necesita de una atmósfera inerte en la parte posterior de la unión.

Tabla 1.2 Selección de gases para soldadura en el proceso MIG

Continuación de la tabla 1.2.

Metal	Gas de protección	Ventajas
Acero al carbón	75 % Ar, 25% CO ₂	Máximas velocidades para espesores menores de un octavo de pulgada eliminando al mínimo la distorsión y las basuras.
	75 % Ar, 25% CO ₂	Para espesores mayores de un octavo de pulgada mejora la maniobrabilidad para uniones verticales obteniendo apariencia totalmente limpia.
	CO ₂	Penetración más profunda y velocidad de soldadura más rápida.

Capítulo II. Análisis de alternativas para el suministro de mezclas de gases.

El objetivo de este capítulo es dar a conocer las alternativas comerciales para obtener mezclas de gases idóneas para los procesos de soldadura y, con base en ellas, dar un fundamento económico y técnico para la propuesta de diseño de la mezcladora de gases para soldadura.

2.1 Cilindros de alta presión

Los gases y las mezclas de gases empleadas en la soldadura TIG y MIG se almacenan en cilindros de alta presión diseñados especialmente para gases comprimidos; éstos tienen un peso aproximado de 80 [kg] y tienen la capacidad de almacenar hasta 154 [kg/cm²] de presión; el espesor de la pared del cilindro es de 1/4 [in]; tienen una altura de 1.45 [m] y un diámetro de 5.5 [in].

Existen normas para identificar los cilindros por colores dependiendo del gas que contengan, tal y como se indican en la tabla 2.1.

Gas	Color de etiqueta
Oxígeno	Verde
Nitrógeno	Negra
Argón	Azul claro
Bióxido de carbono	Gris
Helio	Café
Hidrógeno	Rojo

Tabla 2.1 Identificadores de cilindros según el gas que contienen

Los cilindros que contienen mezclas de dos o más gases están pintados en la cabeza (ojiva) con los colores correspondientes a cada uno de ellos, predominando el color del gas cuya proporción sea mayor.

La norma que establece estos colores es la norma oficial DGNS-11-1970, dictada por la Secretaría de Economía. El color del cuerpo del cilindro depende de la empresa que surte el gas.

En este tipo de cilindros se surten los gases de las diferentes empresas envasadoras de gas. Se han desarrollado nuevos tipos de tanques, con una capacidad mayor en un 50%, para disminuir la manipulación, haciéndolos más seguros y con la idea de disminuir los costos por envío y cambio; sin embargo, este tipo de tanques aún no se encuentra disponible comercialmente.

2.2 Mezclas comerciales de gases

En lo que respecta a las mezclas de gases, se pueden conseguir comercialmente diferentes tipos que están a disposición del usuario en el momento en que éste lo requiera, y que se clasifican por el tipo de acero a soldar de la siguiente forma:

Para aceros al carbono, aceros al carbono de mediana aleación, aceros altamente aleados, cupro-níqueles, cobre y aleaciones, se utilizan las mezclas de argón-oxígeno y argón-bióxido de carbono.

En las mezclas de argón con oxígeno, la adición del oxígeno consigue un arco más estable y mayor fijación a la pieza soldada, y mientras mayor sea la cantidad que se suministre se logra que el metal fundido tenga una baja tensión superficial y mayor velocidad en la aplicación de la soldadura, se reducen salpicaduras y los cordones son más limpios.

Para la mezcla de argón con bióxido de carbono, la adición de éste último mejora notablemente las propiedades del proceso de soldadura con respecto a utilizar únicamente argón; esta mezcla ha sido especialmente diseñada para su uso en soldadura convencional y sinérgica de aceros inoxidable, aceros especiales y aleaciones de cupro-níquel.

Así mismo, su bajo contenido en bióxido de carbono permite controlar el nivel de carbono en el material de aportación, con objeto de no reducir su resistencia a la corrosión y disminuir la

oxidación en la soldadura, estando especialmente indicada para los procesos de MIG-MAG pulsado en los que alcanza su mayor rendimiento.

En general, esta mezcla es recomendada para todas aquellas aplicaciones de soldadura de materiales que requieren alta calidad en el acabado y grandes requerimientos técnicos y estéticos de la pieza soldada, ofreciendo un cordón de excelente calidad en su centro y borde, y proporcionando una mayor velocidad del proceso.

En aceros aleados, aceros inoxidable, cupro-níqueles y aluminio, se utilizan las mezclas binarias y ternarias argón-bióxido de carbono-oxígeno, argón-helio y argón-helio-bióxido de carbono. En general las mezclas ternarias son usadas como gas de protección para procesos de soldadura TIG y MIG de alta calidad.

Estas mezclas están especialmente preparadas para soldaduras de materiales y aleaciones especiales en las que se requiere gran calidad en acabado, penetración y otras propiedades; también ofrecen nuevas posibilidades en el campo de la soldadura por la incorporación de gas helio que mejora notablemente las variables del proceso, aportando beneficios sobre otras mezclas de protección que no cuentan con dicho gas entre sus componentes.

Las mezclas mencionadas anteriormente actúan principalmente como protección del baño de soldadura, pero además cumplen una segunda función importante, ya que permiten el control de la distribución del calor sobre el cordón y la pieza y, de esta manera, una reducción en tiempo y consumibles por requerir menos pasadas para soldar un determinado bisel.

Su uso proporciona un incremento de la transferencia de calor del arco a la pieza y este factor es altamente benéfico para soldaduras de materiales no ferrosos de alta conductividad térmica, como el cobre y el aluminio. La incorporación del helio es responsable de todos estos beneficios y mejoras, ya que posee un aporte calorífico alto y una excelente conductividad térmica.

Mezclas con Helio (He) para TIG y MIG

Algunas de las mezclas tienen como base al helio. Las mezclas binarias llevan otro gas inerte, el argón, como segundo componente. Las mezclas ternarias de argón-helio-bióxido de carbono, están indicadas para aplicaciones en soldadura MIG de acero inoxidable en arco pulsado y proporcionan grandes mejoras en el proceso.

Teniendo como base al helio, la función del argón es la de proporcionar mayor estabilidad al arco. Un pequeño porcentaje de bióxido de carbono ayuda al pulsado del arco y al aporte de material, haciendo que las mezclas con este tercer componente sean adecuadas para la soldadura en MIG pulsado de aceros inoxidables con evidentes mejoras respecto a las mezclas clásicas en MIG convencional, impidiendo, al ser esa cantidad controlada, la carburación del acero.

Soldadura TIG y MIG

Cuando se utiliza al helio como gas de protección, proporciona un cordón poco profundo y más ancho que el argón; además, la superficie móvil del baño adquiere una forma que permite la salida de los gases disueltos en el mismo; por su parte, el argón puro produce un cordón estrecho y comparativamente profundo que favorece la aparición de poros, estando indicado para ganar penetración a un voltaje determinado.

Por lo tanto, la línea se compone de mezclas con determinados porcentajes de los componentes descritos, que ofrecen mejores perfiles de penetración, una anchura de cordón adecuada a la junta, y además evitando porosidades.

En la tabla 2.2 se muestra de manera más precisa el uso y las ventajas de cada mezcla.

Mezcla	Uso	Ventajas
98% Ar, 22% O ₂ , y 95% Ar, 25% O	Ambas son excelentes para la soldadura de placas y láminas delgadas de aceros inoxidables de grados L y ELC, en proceso MIG, con arco de rocío y corto circuito, buena limpieza por su efecto descarburante.	Arco muy estable, ninguna salpicadura, el oxígeno permite una muy buena limpieza superficial y buen acabado. Al permitir la formación de gotas finas facilita la formación de arco spray (rocío) o pulsado y la automatización del proceso.
95% Ar, 5% CO ₂	Muy adecuada para la soldadura de alambres tubulares y sólidos de acero inoxidable en placas finas y gruesas. En proceso MIG por corto circuito con alambres sólidos, facilita el rocío con alambres tubulares.	La pequeña cantidad de CO ₂ no contamina el metal base, permite la aplicación en posiciones con corto circuito y spray pulsado, limpia transferencia de metal y control de arco.
95% Ar, 5% H ₂	Excelente mezcla para la soldadura MIG en aceros inoxidables y en aleaciones cupro níquel y aleaciones de cobre y aluminio. Para procesos TIG y MIG manual o automatizado.	Excelente limpieza de aluminio, aleaciones cupro-níquel y cobre y aleaciones, por su efecto desoxidante en estos materiales aumenta la penetración y mantiene un arco muy estable.
70% Ar, 30% He	Muy útil para la soldadura de aluminio manual o automatizado por su alta velocidad de transferencia y/o penetración. Suelda también aceros inoxidables.	Permite soldar en toda posición, alta velocidad de avance en TIG o MIG manual, pulsado o automatizado, alta penetración o velocidad de avance en placas gruesas o delgadas aluminio o acero inoxidable.
90% Ar, 8% CO ₂ , 2% O ₂ , 83% Ar, 15% CO ₂ , 2% O ₂	Grupo de mezclas para alta producción, en proceso MIG en aceros inoxidables y aceros de alta y mediana aleación. Permiten un arco propicio en materiales de mediano y alto espesor como placas y tubos.	Muy adecuados para la soldadura de micro-alambres tubulares, arco muy estable, con mínimas salpicaduras, alta velocidad de avance en láminas delgadas en todo tipo de aceros inoxidables y aceros aleados. Alta productividad, buen control de arco.

Tabla 2.2 Mezclas de gases para los procesos de soldadura

Continuación de la tabla 2.2.

Mezcla	Uso	Ventajas
68% Ar, 20% He, 12% CO ₂ 63% Ar, 35% He, 2% CO ₂	Ésta es una mezcla especial adecuada para soldadura con micro alambres tubulares de aceros de alta aleación al Cupro Níquel y aceros inoxidable. Útil para los mismos materiales y es universal para todo tipo de aceros inoxidable. También sueldan micros sólidos, para transferencia limpia por corto circuito o spray.	El contenido de Helio, en estas mezclas, permite utilizarlas para soldaduras en posiciones incluyendo V.D., y sobrecabeza, la alta energía del arco logra gran penetración en materiales gruesos y/o alta velocidad de avance en placas delgadas. Con gran control de arco y acabado plano puede mecanizarse el arco pulsante, limpieza y afino de metal con penetración y control de oxidación.
68% Ar, 30% He, 2% H ₂	Para soldadura MIG o TIG aleaciones de cupro-níquel y aleaciones de cobre, evita la formación de óxidos por su contenido de H ₂ , suelda todo tipo de inoxidable y aluminio.	Mezcla con capacidad desoxidante y limpiadora, alta penetración y/o avance, limpia y desoxida el metal, excelente protección en toda posición, para alta productividad de MIG y TIG.
99.97% Ar alta pureza	Gas inerte de pureza industrial o alta pureza, más pesado que el aire, la más tradicional atmósfera protectora para MIG y TIG.	Gas de protección tradicional para soldar aluminio, inoxidable y aleaciones, buena cobertura en posición plana y horizontal, alta estabilidad de arco.
99.98% He	Gas inerte, más ligero que el aire, útil en soldadura MIG y TIG de casi todos los materiales aleados. Arco de corto circuito o spray pulsado.	Gas muy ligero y de alta energía de transferencia calorífica. Arco inestable, útil para soldadura de alta velocidad en placas delgadas con posicionador.
75% Ar, 25% CO ₂	Mezcla clásica muy recomendada para soldadura por corto circuito, sustituye al CO ₂ en acero bajo carbono y baja aleación.	Alta velocidad de depósito y avance por su contenido de CO ₂ ideal para espesores de 15mm. Poco chisporroteo y salpique.

Continuación de la tabla 2.2.

Mezcla	Uso	Ventajas
80% Ar, 20% CO ₂	En aceros al carbón y aleados, el contenido de argón evita salpicaduras, logra estabilidad y conserva las propiedades mecánicas de la unión soldada.	Su alto contenido de CO ₂ le permite penetración en altos espesores, superiores a los 15 mm en corto circuito y rocío largo.
85% Ar, 15% CO ₂	Mezcla ideal para placa o lámina delgada, alta velocidad de avance y buena penetración, cero salpicaduras, acabado liso del cordón, buena limpieza, conserva las propiedades mecánicas del metal, control del charco y gran estabilidad de arco.	Con tubulares magnífico acabado y control de aleaciones por su contenido de Ar.
92% Ar, 8% CO ₂	Mezcla muy adecuada para placas delgadas, alta velocidad manual o para sistemas mecanizados, muy buena para alambres tubulares, acabado liso y limpio, corona baja del cordón.	Cero salpicaduras y mínimo chisporroteo, corto circuito y arco de rocío (spray) excelente.

En general, estos son los tipos de gases que se pueden encontrar en el mercado de forma inmediata con cualquier distribuidor de gases para soldar. Adicionalmente, se pueden surtir mezclas especiales bajo pedido.

2.3 Otros dispositivos

Las aplicaciones de mezclas de gas inerte se utilizan en la industria para el correcto uso de los equipos de soldadura automática y de los recursos disponibles, buscando así obtener los mejores resultados en las uniones soldadas.

Por esta razón, las diferentes compañías que extraen del aire los gases en su forma más pura, también se dedican a la elaboración de mezclas -para diferentes aplicaciones- que se envasan en

cilindros de alta presión. Estos cilindros tienen el porcentaje de mezcla de gas bien determinado para cumplir con la aplicación específica.

El uso de dichos cilindros en la industria se realiza por medio de baterías de cilindros conectados a una línea central de suministro regulada para obtener la presión de gas deseada en el soplete.

Otra forma de uso de los cilindros es de manera independiente: colocando un cilindro por máquina de soldar teniendo que cambiar el cilindro en el tiempo en que éste se vacíe, incrementando el costo de mano de obra e incrementando el riesgo de accidentes por el manejo constante de cilindros de alta presión y del equipo inherente a esta actividad, como son: válvulas, mangueras, tuberías, etcétera.

Cuando el consumo de gases es alto, se hacen instalaciones de tanques de grandes dimensiones con reguladores y mezcladores de alto costo para la empresa consumidora, el almacenamiento de estos gases se hace en tanques-thermo de diferentes capacidades que van desde los 2,600 hasta los 23,000 [lt], de acuerdo con las necesidades de la empresa.

2.4 Análisis económico de las instalaciones previas con el proyecto de la mezcladora de gases.

Con base en lo anterior, se propone el diseño de una mezcladora que permita que el flujo de un gas de mayor porcentaje en la mezcla se combine con el de menor porcentaje en un recipiente que se presurice hasta alcanzar la presión necesaria, así como la correcta calidad de mezcla.

Con esto, se evitarán los altos costos de adquisición de mezclas comerciales, tal y como se muestra a continuación:

Si se tiene un cilindro con una mezcla de argón al 75% y bióxido de carbono al 24%, tiene un costo aproximado en el mercado de \$75.00 y de un volumen de 6 [m³]; por lo que el costo por el uso de 60 [m³] diarios de la mezcla durante un período de 24 días es de \$18,000.00, como se muestra a continuación:

60 m³ = 10 cilindros = \$750.00 diarios

24 días = 240 cilindros = \$18,000.00

Comparativamente, se tiene que el costo de un metro cúbico de argón es de \$1.50 y el de un equivalente de bióxido de carbono es de \$0.75; por lo que para el mismo consumo de 60 [m³] de mezcla diarios por 24 días, equivalentes a 1,440 [m³], el costo será de \$1,890.00, calculados de la siguiente forma:

$$(1,440 * 0.75 \text{ m}^3_{\text{Ar}})(\$1.50/\text{m}^3) + (1,440 * 0.25 \text{ m}^3_{\text{CO}_2})(\$0.75/\text{m}^3) = \$1,890.00$$

Lo que representa un ahorro de \$16,110.00 mensual. Este ahorro da factibilidad a la propuesta que se presenta en este trabajo, debido a que el retorno de la inversión es a corto plazo.

Capítulo III. Medición de fluidos

El objetivo de este capítulo es el de presentar los fundamentos de mecánica de fluidos que permiten entender los cálculos requeridos para poder medir el caudal, o gasto, en los sistemas de medición de flujo convergentes disponibles.

Estos fundamentos quedan plasmados en la Ecuación de Bernoulli, por lo que en este capítulo se explican los principios que soportan y dan origen a esta ecuación, que es en sí, la base teórica de la propuesta de diseño de la mezcladora de gases.

Como antecedentes, la primera medición real de flujo fue descrita por Hero de Alejandria alrededor del año 270 AC; esta medición incluyó un tanque para la medida de volumen y un reloj de sol para la medida de tiempo, el flujo fue calculado usando la ecuación de continuidad.

Posteriormente en 1502 Leonardo da Vinci establece el Principio de Continuidad, en 1748 Danielle Bernoulli desarrolla la célebre Ecuación de Bernoulli, y en 1895 Clement Herchel desarrolla el tubo Vénturi.

3.1 Propiedades de los fluidos

Para entender la ecuación de Bernoulli, a continuación se presenta una breve descripción de las propiedades físicas de los fluidos que serán aplicadas en el desarrollo del presente proyecto.

Temperatura

La temperatura (T) es una propiedad macroscópica que es la medida de la energía molecular promedio de una sustancia. La temperatura termodinámica es llamada *Temperatura Absoluta* debido a que su valor de referencia es el cero absoluto, que indica cero energía molecular.

Esta medida energética se representa en el sistema internacional mediante el uso de las unidades kelvin [K] y grados centígrados o grados celsius [°C], siendo la relación entre éstas como se muestra en la ecuación 3.1.

$$K = ^\circ C + 273$$

Ecuación 3.1 Relación entre grados centígrados y kelvin

Presión

La presión (P) de un fluido es definida como la fuerza normal por unidad de área ejercida por un fluido en una superficie o frontera. En el análisis de mecánica de fluidos se consideran las siguientes presiones:

- Presión Atmosférica: Es el peso por unidad de área ejercida por el aire sobre un plano de referencia y que varía de acuerdo con las condiciones atmosféricas. Ya que la presión es generalmente medida con un barómetro, se le conoce también como presión barométrica.
- Presión Atmosférica Estándar: Por acuerdo internacional se define como 101.325 [kN/m² (kPa)] a 0 [°C].
- Presión Medida: La mayoría de los instrumentos para la medición de presión, exceptuando al barómetro, indican la diferencia entre la presión medida y la presión atmosférica como se indica en la figura 3.1. Se dice que la Presión Medida es positiva si es superior a la Presión Atmosférica, y negativa o de vacío si es inferior a la misma.
- Presión Absoluta: Es el resultado de la suma algebraica de la lectura del instrumento de medición de la Presión Medida más la Presión Atmosférica.

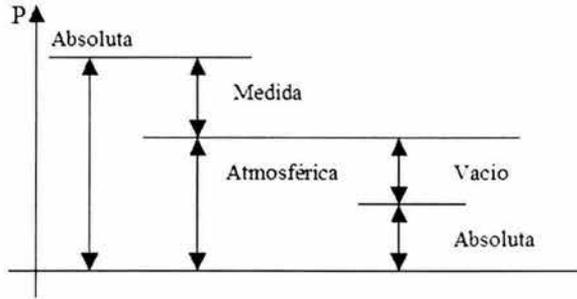


Figura 3.1 Relación de presiones

Masa, Fuerza y Peso

La masa (m) es la cantidad de materia de un elemento y se encuentra relacionada con la fuerza (F) por la segunda ley del movimiento de Newton. El peso (W) es la fuerza ejercida por una masa debido a la acción de la aceleración de la gravedad.

La segunda ley del movimiento de Newton, establece que una fuerza no balanceada actuando en un cuerpo causa que éste se acelere en la dirección de la fuerza. Dicha aceleración es directamente proporcional a la fuerza e inversamente proporcional a la masa del cuerpo, tal y como se indica en la ecuación 3.2.

$$F = \frac{m \cdot \alpha}{g_c}$$

Ecuación 3.2 Segunda ley del movimiento de Newton

En donde: “ F ” es la fuerza medida en newtons [N],
 “ m ” es la masa del cuerpo medida en [kg],
 “ α ” es la aceleración medida en [m/s^2], y
 “ g_c ” es la constante de proporcionalidad con un valor de 1 [$kg \cdot m / N \cdot s^2$].

Densidad

La densidad (ρ) es la masa de una sustancia por unidad de volumen y su valor numérico es el mismo en cualquier lugar debido a que representa una cantidad de materia. La definición de esta propiedad se muestra en la ecuación 3.3.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Ecuación 3.3 Densidad

En donde: “ m ” es la masa del cuerpo medida en [kg], y
“ V ” es el volumen del mismo medido en [m³].

Peso específico

El peso específico (γ) es el peso o fuerza ejercida por la masa de un cuerpo por unidad de volumen debido a la aceleración de la gravedad, según se muestra en la ecuación 3.4. A diferencia de la densidad, el valor numérico del peso específico varía con la gravedad local.

$$\gamma = \frac{F}{V} = \frac{m \cdot g}{V \cdot g_c} = \rho \frac{g}{g_c}$$

Ecuación 3.4 Peso específico

Volumen específico

El volumen específico “ v ” es definido como el volumen de una sustancia dividida entre su masa, como se muestra en la ecuación 3.5. Como la densidad, el volumen específico tiene el mismo valor en cualquier lugar dado que su valor es el inverso de la densidad.

$$v = \frac{1}{\rho} = \frac{g}{\gamma \cdot g_c}$$

Ecuación 3.5 Volumen específico

Viscosidad

La viscosidad es la resistencia de un fluido al movimiento o la medida de su fricción interna. Existen dos tipos de viscosidad: dinámica, representada por la ecuación 3.6, y cinemática, siendo esta última la relación entre la viscosidad dinámica y la densidad del objeto.

$$\mu = \tau \frac{dy}{dU}$$

Ecuación 3.6 Viscosidad dinámica

En donde: “ τ ” es igual a la fuerza de corte dividida entre el área de corte, y
 “ dy/dU ” es el índice de deformación de la sustancia.

Como anteriormente se dijo, la relación de la viscosidad dinámica a la densidad se define como la viscosidad cinemática, la cual es empleada en ecuaciones de mecánica de fluidos. Debido a que la viscosidad dinámica es expresada en unidades de fuerza y la densidad en unidades de masa, es necesario introducir una constante de proporcionalidad “ g_c ” para relacionar las viscosidades dinámica y cinemática; por lo tanto, la viscosidad cinemática se expresa de acuerdo con la ecuación 3.7

$$\nu = \frac{g_c \cdot \mu}{\rho}$$

Ecuación 3.7 Viscosidad cinemática

Número de Reynolds

El número de Reynolds (Re) es un número adimensional que indica el grado de turbulencia de un fluido de acuerdo con la relación de la fuerza de inercia y la fuerza de viscosidad.

Un número de Reynolds crítico distingue entre los diferentes regímenes de flujo, tales como laminar (inferior a 2100) o turbulento (mayor a 4000) en tuberías, en la capa límite, o alrededor de objetos sumergidos. En la tabla 3.1 se muestra la relación entre el número de Reynolds y el tipo de flujo del fluido.

Número de Reynolds	Tipo de Flujo
Menor a 2320	Laminar
Igual a 2320	Punto de transición crítica
Mayor a 2320	Turbulento

Tabla 3.1 Número de Reynolds y tipo de flujo

El número de Reynolds se utiliza, entre otras cosas, para encontrar el factor de fricción del flujo de una sustancia a través de una tubería.

3.2 Tipos de fluidos

Para los propósitos de la aplicación de la mecánica de los fluidos, es conveniente considerar dos clases de fluidos: compresibles e incompresibles.

Estas clases están determinadas por el espacio intermolecular y el arreglo o fase de la sustancia. En general, los cambios en la densidad son despreciables para fluidos incompresibles pero no así para los fluidos compresibles.

Varias aseveraciones pueden formularse acerca de la naturaleza de estas clases de fluidos que dependen de la fase:

- Líquidos: Son considerados como fluidos incompresibles excepto a muy altas temperaturas.
- Gases: Son fluidos compresibles que se comportan idealmente, esto significa que la relación temperatura-presión-volumen puede ser expresada por la ley ideal de los gases, si la relación de la temperatura de la sustancia con respecto a la temperatura crítica de la misma se aproxima a infinito y la relación de la presión con respecto a la presión crítica se aproxima a cero.
- Vapores: Son gases a temperaturas por debajo de su temperatura crítica y son compresibles, pero su relación temperatura-presión-volumen no puede ser expresada por simples ecuaciones matemáticas como la ley ideal de los gases. Las propiedades del vapor son generalmente tabuladas.

3.3 Dinámica de los gases

La dinámica de los gases es la rama de la dinámica de fluidos que tiene que ver con el movimiento de los gases y sus efectos consecuentes. La dinámica de gases combina los principios de mecánica de fluidos y termodinámica.

Debido a que los cambios de energía potencial en los gases ideales son usualmente pequeños comparados con otros cambios de energía, se asumirá que los sistemas de la mezcladora para el análisis, serán horizontales, esto es, que no existe una diferencia de energía potencial entre ellos; también, por fines prácticos, se asumirá que el flujo es unidimensional y que todos los fluidos se encuentran en el estado ideal de los gases.

A continuación se explican las ecuaciones fundamentales de la dinámica de fluidos y cómo éstas se relacionan para dar origen a la ecuación de Bernoulli.

Perfil de velocidad

Flujo volumétrico

La figura 3.2 muestra el flujo uniforme de un fluido en una tubería circular. El perfil de velocidad se obtiene registrando la velocidad “ U ” de cada línea del flujo pasando a través de la sección “ $A-A$ ”; así, el flujo volumétrico “ Q ” se expresa de acuerdo con la ecuación 3.8.

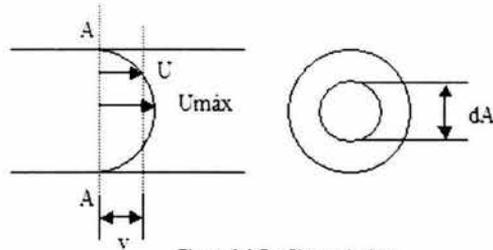


Figura 3.2 Perfil de velocidad

$$Q = \int U \cdot dA$$

Ecuación 3.8 Flujo volumétrico

Velocidad promedio

En muchas aplicaciones de ingeniería, el perfil de velocidad es casi una línea recta o puede ser reducida a una para fines prácticos, por lo que para la misma situación mostrada en la figura 3.2, la velocidad promedio “ v ” puede definirse de acuerdo con la ecuación 3.9.

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{1}{A} \int U \cdot dA$$

Ecuación 3.9 Velocidad promedio

Flujo de masa

El flujo de masa “ dm ” es la cantidad de masa de una sustancia que pasa a través de un área determinada en un cierto tiempo, como se indica en la ecuación 3.10.

$$dm = \frac{m}{dt}$$

Ecuación 3.10 Flujo de masa

Sabiendo que la masa está estrechamente ligada con la densidad del fluido, de acuerdo con la ecuación 3.3, se tiene que la masa es igual a la densidad multiplicada por el volumen, tal y como se expresa en la ecuación 3.11.

$$m = \rho \cdot V$$

Ecuación 3.11 Masa

Considerando un volumen de un fluido “ V ” moviéndose en un flujo tubular con una velocidad “ U ” como se muestra en la figura 3.3 y considerando las ecuaciones 3.10 y 3.11, se tiene que el flujo de masa se puede expresar con la ecuación 3.12.

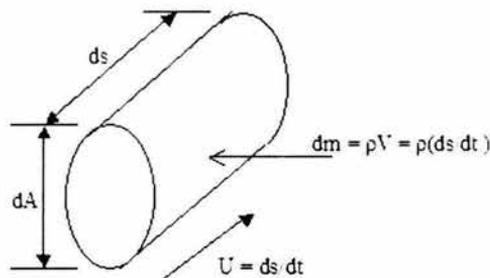


Figura 3.3 Flujo de masa

$$d\dot{m} = \frac{dm}{dt} = \frac{\rho \cdot ds \cdot dA}{dt} = \rho \cdot U \cdot dA$$

Ecuación 3.12 Flujo de masa

Ecuación de continuidad

La ecuación de continuidad es un caso especial de la ley de la conservación de la masa. Esta ecuación define que el flujo de masa entrando a un sistema es igual al flujo de masa almacenado en el sistema más el flujo de masa registrada al final del sistema.

Considerando el flujo de masa a la entrada de un tanque “ $m_1 = \rho_1 v_1$ ” y que el flujo de masa que sale del tanque “ $m_2 = \rho_2 A_2 v_2$ ”, si la cantidad de flujo suministrada es mayor que la que sale del tanque, el flujo de masa que será almacenado en el sistema será “ $m_s = r A dz/dt$ ”, en donde “ dz ” es el diferencial de altura.

Matemáticamente, esto puede ser expresado de acuerdo con la ecuación 3.13.

flujo de masa entrante = flujo de masa almacenada + flujo de masa saliente

$$m_1 = m_s + m_2$$

$$\rho_1 \cdot A_1 \cdot v_1 = \rho \cdot A \cdot \left(\frac{dz}{dt} \right) + \rho_2 \cdot A_2 \cdot v_2$$

Ecuación 3.13 Ecuación de continuidad

Flujo uniforme

Si la cantidad de flujo suministrada es igual a la cantidad de flujo de salida, entonces el diferencial de almacenamiento “dz” es igual a cero, por lo tanto la ecuación 3.13 queda como se muestra en la ecuación 3.14.

$$m = \rho_1 \cdot A_1 \cdot v_1 = \rho_2 \cdot A_2 \cdot v_2 = \dots = \rho_n \cdot A_n \cdot v_n = \rho \cdot A \cdot v$$

Ecuación 3.14 Ecuación de continuidad con dz igual a cero

En un sistema compresible, en donde la densidad, el área y la velocidad pueden variar, la ecuación 3.14 anterior puede expresarse como la ecuación 3.15.

$$\frac{dv}{v} + \frac{dA}{A} + \frac{d\rho}{\rho} = 0$$

Ecuación 3.15 Ecuación de continuidad en un sistema compresible

Esta misma ecuación funciona para un sistema incompresible, con la única consideración de que la densidad no varía, por lo que se reduce a la ecuación 3.16.

$$\frac{dv}{v} = -\frac{dA}{A}$$

Ecuación 3.16 Ecuación de continuidad en un sistema incompresible

de lo que se deduce que:

- Si el área se aumenta, la velocidad disminuye.
- Si el área se disminuye, la velocidad se incrementa.
- Si el área es constante, la velocidad es constante.

Ecuación de movimiento

Considerando el movimiento de un fluido en un ducto como se muestra en la figura 3.4.

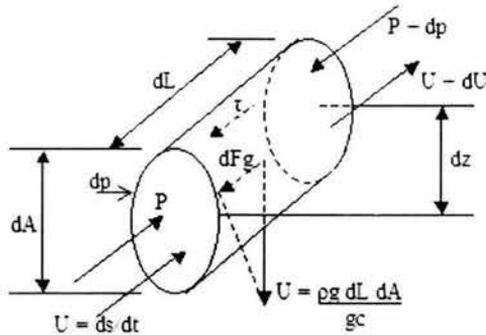


Figura 3.4 Elementos de un flujo tubular

Este elemento de volumen tiene una longitud característica “ dL ”, un área normal al movimiento del flujo “ dA ” y un perímetro “ dp ”; el elemento de masa es “ $\rho dA dL$ ”; el incremento de elevación de esta masa entre el punto inicial y punto final es “ dz ”, y el movimiento del elemento de volumen es hacia delante y hacia arriba.

Las fuerzas que tienden a cambiar la velocidad “ U ” de esta masa de fluido son: la fuerza de presión “ F_p ” representada en la ecuación 3.17, la fuerza de gravedad “ F_g ” debida al componente de peso en dirección al movimiento y enunciada en la ecuación 3.18, y la fuerza de fricción “ F_f ” considerada en la parte externa del elemento de volumen y mostrada en la ecuación 3.19.

$$DF_p = p dA - (p + dp) dA = -dp dA$$

Ecuación 3.17 Fuerza de presión

$$dF_g = -\frac{\rho \cdot g \cdot dA \cdot dL}{g_c} \left(\frac{dz}{dL} \right) = -\frac{\rho \cdot dA \cdot dz}{g_c}$$

Ecuación 3.18 Fuerza de gravedad

$$dF_f = -\tau \cdot dP \cdot dL$$

Ecuación 3.19 Fuerza de fricción

Realizando un análisis de fuerzas, se obtiene la ecuación 3.20.

$$\sum dF = dF_p + dF_g + dF_f = -dp \cdot dA - \frac{\rho \cdot g \cdot dA \cdot dz}{g_c} - \tau \cdot dP \cdot dL$$

Ecuación 3.20 Sumatoria de fuerzas

Simplificando la ecuación 3.20 se obtiene la ecuación 3.21.

$$\sum dF = -dA \left(dp + \frac{\rho \cdot g \cdot dz}{g_c} + \frac{\tau \cdot dP \cdot dL}{dA} \right)$$

Ecuación 3.21 Sumatoria de fuerzas simplificada

Aplicando la segunda ley del movimiento de Newton a la ecuación 3.21, resulta la ecuación 3.22.

$$\sum dF = \frac{m \cdot \alpha}{g_c} = \frac{\rho \cdot dA \cdot dL}{g_c} \cdot \left(\frac{dU}{dt} \right) = \frac{\rho \cdot dA \cdot dU}{g_c} \left(\frac{dL}{dt} \right) = \frac{\rho \cdot dA \cdot U \cdot dU}{g_c}$$

Ecuación 3.22 Sumatoria de fuerzas aplicando la 2ª ley de Newton

Igualando las ecuaciones 3.21 y 3.22 se tiene la ecuación 3.23.

$$\sum dF = \frac{\rho \cdot dA \cdot U \cdot dU}{g_c} = -dA \left(dp + \frac{\rho \cdot g \cdot dz}{g_c} + \frac{\tau \cdot dP \cdot dL}{dA} \right)$$

Ecuación 3.23 Sumatoria de fuerzas

Simplificando la ecuación 3.23 e igualándola a cero se obtiene la ecuación 3.24.

$$\frac{g \cdot dz}{g_c} + \frac{U \cdot dU}{g_c} + \frac{dp}{\rho} + \frac{\tau \cdot dL}{\rho} \left(\frac{dP}{dA} \right) = 0$$

Ecuación 3.24 Simplificación de la sumatoria de fuerzas

Sustituyendo el inverso de la densidad por el volumen específico, se tiene la ecuación 3.25.

$$\frac{g \cdot dz}{g_c} + \frac{U \cdot dU}{g_c} + v \cdot dp + v \cdot \tau \cdot dL \left(\frac{dP}{dA} \right) = 0$$

Ecuación 3.25 Sumatoria de fuerzas usando volumen específico

Considerando que “ $dA/dP = R_h$ ” es el radio hidráulico y que para un flujo dimensional la velocidad “ U ” es igual a “ v ”, se obtiene la ecuación 3.26.

$$\frac{g \cdot dz}{g_c} + \frac{v \cdot dv}{g_c} + v \cdot dp + \frac{v \cdot \tau}{R_h} \cdot dL = 0$$

Ecuación 3.26 Aplicación del radio hidráulico y sustitución de velocidades

Integrando la ecuación 3.26 entre las secciones 1 y 2 se tiene la ecuación 3.27.

$$\frac{g}{g_c}(z_2 - z_1) + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g_c} + \int_1^2 v \cdot dp + \frac{1}{R_h} \int_1^2 v \cdot \tau \cdot dL = 0$$

Ecuación 3.27 Integrando la sumatoria de fuerzas

Haciendo $H_f = \frac{1}{R_h} \int_1^2 v \cdot \tau \cdot dL$ el factor de pérdida de energía debido a la fricción, se obtiene la ecuación 3.28.

$$\frac{g}{g_c}(z_2 - z_1) + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g_c} + \int_1^2 v \cdot dp + H_f = 0$$

Ecuación 3.28 Substitución del factor de pérdida

Considerando que el análisis se realiza para un fluido incompresible y que es un flujo sin fricción significativa, se tiene la ecuación 3.29.

$$\frac{g}{g_c}(z_2 - z_1) + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g_c} + v(p_2 - p_1) = 0$$

Ecuación 3.29 Aplicando consideraciones de fricción y compresibilidad

Multiplicando la ecuación 3.29 por “ g_c/g ” y considerando que el volumen específico puede expresarse en función del peso específico “ γ ” según la ecuación 3.4, se tiene finalmente la ecuación 3.30.

$$z_2 - z_1 + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + \frac{(p_2 - p_1)}{\gamma} = 0$$

Ecuación 3.30 Ecuación de Bernoulli

Mejor conocida como Ecuación de Bernoulli.

La ecuación de Bernoulli es uno de los pilares fundamentales de la hidrodinámica; siendo innumerables los problemas prácticos que se resuelven mediante esta ecuación, tales como:

- La altura de suspensión a que debe colocarse una bomba.
- El cálculo de la altura efectiva o altura útil que se necesita en una bomba.
- El estudio del problema de la cavitación.
- El estudio del tubo de aspiración de una turbina.
- El cálculo de las tuberías en general.

3.4 Teoría de flujo de fluidos en tuberías

Velocidad de flujo límite de gases en una tubería

La velocidad máxima de un fluido compresible en una tubería, está limitada por la velocidad de propagación de una onda de presión que se mueve a la velocidad del sonido en el mismo fluido.

Debido a que la presión decrece y a que la velocidad aumenta a medida que el fluido se mueve corriente abajo por una tubería de sección constante, la velocidad máxima se mide en el extremo de salida de la tubería. Si la presión es muy alta, la velocidad de salida coincide con la velocidad del sonido.

Si se reduce la presión de salida, sus efectos se reflejan más allá del extremo de la tubería en forma de ondas de choque y turbulencias, sin afectar el fluido corriente arriba; esto se debe a que la onda de presión se traslada en la dirección del flujo.

Como se dijo antes, la velocidad máxima de un fluido en una tubería es la del sonido, y se expresa de acuerdo con la ecuación 3.31.

$$v_s = \sqrt{\gamma \cdot R \cdot T} = \sqrt{\gamma \cdot P' \cdot V}$$

Ecuación 3.31 Velocidad máxima de un fluido en una tubería.

Donde, “ γ ” es el coeficiente del calor específico a presión constante entre el calor específico a volumen constante, “ R ” es la constante individual para cada gas y equivale al cociente de “ R_o ” dividida entre el peso molecular “ M ” del gas, “ T ” es la temperatura absoluta medida en [K], “ P' ” es la presión absoluta medida en [N/m²], y “ V ” es el volumen específico del fluido medido en [m³/kg].

Se recomienda siempre diseñar un sistema de tubería con la máxima velocidad de fluido posible, de tal forma, que sea posible reducir el tamaño de la tubería y de sus componentes. Este diseño, sin embargo, debe considerar que el paso de un fluido a velocidad máxima no cause problemas físicos, como son: erosión, corrosión, vibraciones, ruido, cavitación, etcétera.

La velocidad media de un fluido compresible en tuberías se puede calcular con la ecuación 3.32.

$$V = \frac{3.06 \cdot W}{d^2 \cdot \rho}$$

Ecuación 3.32 Velocidad media de un fluido en una tubería

En donde: “ W ” es el caudal expresado en [lb/hr],
 “ d ” es el diámetro interior de la tubería, y
 “ ρ ” es la densidad del fluido expresada en [lb/ft³].

Consideraciones para el flujo en tuberías

El método más comúnmente empleado para el transporte de un fluido es mediante un sistema de tuberías, siendo las de sección circular las más usadas.

Este método está siempre acompañado del rozamiento de las partículas del fluido entre sí y, consecuentemente, por la pérdida de energía disponible, lo que ocasiona una pérdida de presión en el sentido del flujo. Esto puede demostrarse conectando manómetros en una tubería y observando que la presión estática “ P_1 ” medida por el primer manómetro es mayor que la presión estática “ P_2 ” medida por el segundo manómetro, como se muestra en la figura 3.5.

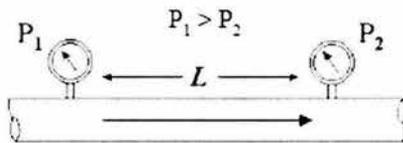


Figura 3.5 Pérdida de presión entre dos puntos en una tubería.

Cálculo de la pérdida de presión.

La ecuación general de la pérdida de presión es conocida como la fórmula de Darcy, la cual se expresa en [m] y se calcula con la ecuación 3.33.

$$\Delta P = \frac{\rho \cdot f \cdot L \cdot v^2}{2d}$$

Ecuación 3.33 Fórmula de Darcy para el cálculo de la caída de presión en tuberías

En donde “ ρ ” es la densidad del fluido,
“ f ” es el factor de fricción,
“ L ” es la longitud de la tubería,
“ v ” es la velocidad media del fluido, y
“ d ” es el diámetro interior de la tubería.

La ecuación de Darcy proporciona la pérdida de presión debida al rozamiento y se aplica a una tubería recta, sea horizontal, vertical o inclinada, de diámetro constante, y por la que pasa un fluido cuya densidad se mantiene constante. En tuberías verticales, inclinadas o de diámetro variable, el diferencial de presión debido a cambios en la elevación, en la velocidad o en la densidad de un fluido, se calcula por medio de la ecuación de Bernoulli.

Factor de fricción

La fórmula de Darcy puede deducirse por análisis dimensional, con excepción del factor de fricción “ f ” que debe determinarse experimentalmente. El factor de fricción para un flujo laminar está en función únicamente del número de Reynolds, mientras que el factor de fricción de un flujo turbulento, además de estar en función del número de Reynolds, también depende de la rugosidad de la pared de la tubería.

Un flujo se considera laminar cuando el número de Reynolds es inferior a 2,000, y como turbulento cuando dicho número es superior a 4,000; la región entre ambos valores se conoce como “zona crítica”, y en esta región el flujo puede ser tanto laminar como turbulento, dependiendo de varios factores como son: el cambio de sección, el cambio de dirección del flujo y obstrucciones tales como válvulas arriba de la zona a considerar. El factor de fricción en esta región es indeterminado y tiene límites más bajos si el flujo es laminar y más altos si es turbulento.

Si el flujo es laminar, el factor de fricción puede determinarse a partir de la ecuación 3.34.

$$f = \frac{64}{\text{Re}} = \frac{64\mu}{d \cdot v \cdot \rho}$$

Ecuación 3.34 Cálculo del factor de fricción f .

En donde: “ μ ” es la viscosidad dinámica absoluta medida en [psi],
 “ d ” es el diámetro interior de la tubería medido en [mm],
 “ v ” es la velocidad media del flujo medida en [ft³/hr], y
 “ ρ ” es la densidad del fluido.

Como se mencionó anteriormente, cuando el flujo es turbulento, el factor de fricción depende del número de Reynolds y de la rugosidad relativa de las paredes de la tubería (ϵ/d); esto es, de la comparación entre la rugosidad de las paredes de la tubería “ ϵ ” y el diámetro de la tubería “ d ”. Para tuberías muy lisas, como las de latón extruido o vidrio, el factor de fricción disminuye con el aumento del número de Reynolds.

Debido a que el tipo de superficie interna de la tubería comercial es prácticamente independiente del diámetro, la rugosidad de las paredes tiene un mayor efecto en el factor de fricción para diámetros pequeños; en consecuencia, las tuberías de menor diámetro se acercan a la condición de gran rugosidad y, en general, tienen mayores efectos de fricción que las tuberías del mismo material y con un diámetro mayor.

La información más útil y universalmente aceptada sobre factores de fricción se obtiene del diagrama de Moody; para ello, basta con obtener el punto de intersección entre el número de Reynolds y la curva de “ ϵ/d ”. Debido a que la mayoría de las tuberías comerciales son de acero o de hierro forjado, en la figura 3.6 se muestra el diagrama de Moody.

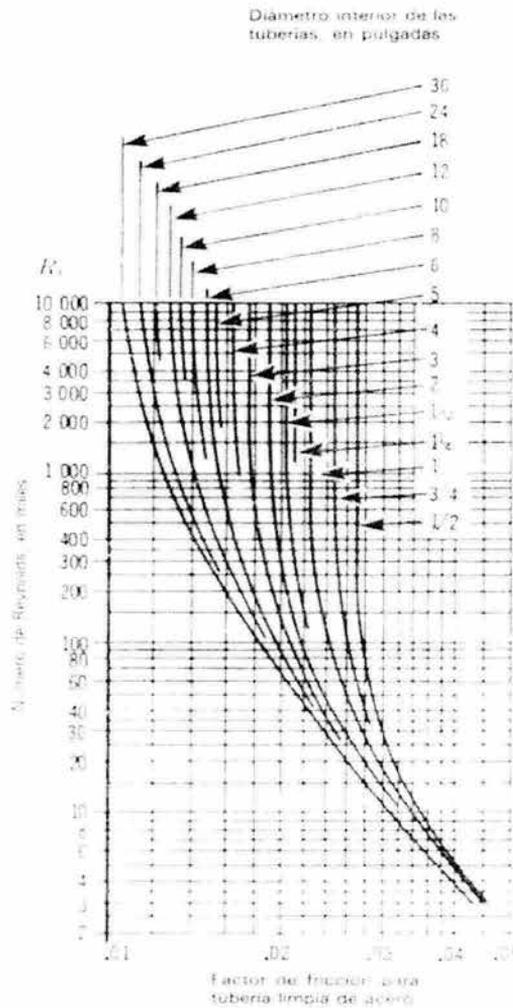


Figura 3.6 Diagrama de Moody

Nota: Debe tenerse en cuenta que estos valores sólo aplican para tuberías nuevas y limpias.

Efecto del tiempo y uso en la fricción de tuberías

Las pérdidas por fricción en tuberías son muy sensibles a los cambios de diámetro y de rugosidad de las paredes. Para un caudal determinado y un factor de fricción fijo, la pérdida de presión por metro de tubería varía inversamente proporcional a la quinta potencia del diámetro; por ejemplo, si se reduce en un 2% el diámetro de la tubería, se tiene una pérdida de presión de un 11%. También debe considerarse que, con el paso del tiempo, impurezas en los fluidos se van incrustando en las paredes de la tubería, disminuyendo su diámetro; por lo que en el cálculo de dicho diámetro, debe incluirse un margen de reducción de paso.

Principios del flujo de fluidos compresibles en tuberías

La determinación exacta de la pérdida de presión de un fluido compresible que circula por una tubería, requiere un conocimiento de la relación entre la presión y el volumen específico. Los casos extremos considerados normalmente son el flujo adiabático y el flujo isotérmico.

El flujo adiabático se considera que ocurre en tuberías cortas y bien aisladas, debido a que no se transfiere calor desde o hacia la tubería, con la excepción del calor generado por la fricción propia del paso del flujo.

El flujo isotérmico se considera que ocurre frecuentemente, en parte por conveniencia, porque se acerca más a la realidad natural.

La densidad de los gases y de los vapores varía considerablemente con la presión; por lo tanto, si la caída de presión entre P_1 y P_2 , mostrada en la figura 3.5, es grande, entonces la velocidad y la densidad cambian significativamente.

Cuando se trabaja con fluidos compresibles, como el aire, el argón y el bióxido de carbono, debe considerarse que la fórmula de Darcy puede emplearse usando un factor de expansión “ Y ”, que compensa los cambios de las propiedades del fluido debido a su propia expansión.

Pérdida de energía en sistemas de tuberías

En un sistema de tuberías largas, el efecto de los dobleces, las válvulas y los accesorios es generalmente despreciable; sin embargo, en sistemas donde la tubería es pequeña, el efecto causado por accesorios debe considerarse.

Si una tubería se diseña con insuficiencia, el resultado será que el sistema no podrá suministrar el flujo requerido; si, por otro lado, la tubería se diseña con excesos, será necesario utilizar un arreglo de válvulas para disminuir la presión del fluido.

Por lo tanto, deben considerarse las siguientes pérdidas de energía cuando se calcula la pérdida por fricción en un sistema de tuberías:

- Pérdida de energía a la entrada del fluido en el sistema.
- Pérdida debida a la fricción en la tubería.
- Pérdidas debidas a válvulas y accesorios.
- Pérdidas debidas a cambios de dirección de la tubería.
- Pérdidas debidas a cambios en las áreas normales al flujo de la tubería.
- Pérdidas debido a la salida del fluido del sistema.

Pérdida de entrada.

La pérdida de energía debido a la entrada de un fluido a un sistema depende de la geometría de la entrada.

Si se considera un flujo turbulento a la entrada del sistema, la resistencia es independiente del número de Reynolds y la pérdida de energía a la entrada, “ H_e ”, se calcula de acuerdo con la ecuación 3.35.

$$H_e = K_e \frac{v_e^2}{2g_c}$$

Ecuación 3.35 Cálculo de la pérdida de entrada.

En donde: “ K_e ” es el coeficiente de resistencia a la entrada,
 “ v_e ” es la velocidad a la entrada, y
 “ g_c ” es la constante de proporcionalidad.

Pérdida por fricción en la tubería

La pérdida de energía debida la fricción en la tubería, “ H_{ft} ”, se calcula según la ecuación 3.36.

$$H_{ft} = \sum_e^s \left(\frac{f \cdot L}{d} \cdot \frac{v^2}{2g_c} \right) ft$$

Ecuación 3.36 Cálculo de la pérdida por fricción en la tubería.

En donde: “ f ” es el factor de fricción,
 “ L ” es la longitud de la tubería,
 “ v ” es la velocidad del fluido,
 “ d ” es el diámetro interno de la tubería, y
 “ g_c ” es la constante de proporcionalidad.

Los valores de los factores de fricción individuales pueden calcularse usando la ecuación 3.34 para flujo laminar y la ecuación 3.37 para flujo turbulento.

$$f = \left[1.14 - 2 \log_{10} \left(\frac{\epsilon}{d} + \frac{21.25}{Re^{0.9}} \right) \right]^{-2}$$

Ecuación 3.37 Factor de fricción para tuberías lisas y rugosas con flujo turbulento.

Pérdida de energía por válvulas y accesorios

El flujo de un fluido a través de válvulas y accesorios es generalmente considerado como de completa turbulencia e independiente del número de Reynolds, en donde dichos elementos son tratados como tuberías rectas con una gran superficie rugosa.

Una práctica común es la de describir el factor de fricción de estos elementos en términos de longitudes equivalentes " L_e " de una tubería recta, el coeficiente de resistencia para válvulas " K_V ", el coeficiente de resistencia para accesorios " K_A ", y el coeficiente de flujo de válvula " C_V ".

La velocidad en una tubería se obtiene mediante la presión o altura estática; por lo que la pérdida de presión debida a la velocidad se calcula con la ecuación 3.38, la cual se define como altura de velocidad " H_V ".

$$H_V = \frac{v^2}{2g_c}$$

Ecuación 3.38 Pérdida de presión debido a la velocidad de un fluido

En donde: " v " es la velocidad del fluido, y
 " g_c " es la constante de proporcionalidad.

El flujo por una válvula o accesorio también causa una pérdida de presión que puede expresarse en función de la pérdida de presión debida a la velocidad, a la que se aplica un coeficiente de resistencia " K ", según se muestra en la ecuación 3.39, que puede ser el coeficiente de resistencia para válvulas " K_V " o el de accesorios " K_A ".

$$H_V = K \frac{v^2}{2g_c}$$

Ecuación 3.39 Pérdida de presión para una válvula o accesorio

La pérdida de presión en una tubería recta se calcula con la ecuación de Darcy, según se muestra en la ecuación 3.40.

$$H_L = \left(f \cdot \frac{L}{D} \right) \frac{v^2}{2g_c}$$

Ecuación 3.40 Ecuación de Darcy para una tubería recta

De donde se deduce la ecuación 3.41.

$$\left(f \cdot \frac{L}{D} \right) = K_V, K_A$$

Ecuación 3.41 Coeficiente de resistencia para una válvula o accesorio.

Por lo tanto, el valor total de energía debido a las válvulas y accesorios de un sistema de tuberías, será la suma de la pérdida de cada elemento, tal y como se muestra en la ecuación 3.42.

$$H_{VA} = \sum_e \left(K_V \frac{v^2}{2g_c} \right)_V + \sum_e \left(K_A \frac{v^2}{2g_c} \right)_A$$

Ecuación 3.42 Pérdida total del conjunto de válvulas y accesorios de un sistema.

Cálculo de los factores de fricción

Como anteriormente se mencionó, el factor de fricción se obtiene experimentalmente. En la tabla 3.2 se muestran los factores de fricción para tuberías de acero, de diferentes diámetros, nuevas con flujo en la zona total de turbulencia.

Diámetro nominal	mm	15	20	25	32	40	50	65,80	100	125	150	200,250	300-400	450-600
	in	0.50	0.75	1	1.25	1.50	2	2.50,3	4	5	6	8,10	12-16	18-24
Factor de fricción	<i>f</i>	0.027	0.025	0.023	0.022	0.021	0.019	0.018	0.017	0.016	0.015	0.014	0.013	0.012

Tabla 3.2 Factores de fricción

Coefficientes de resistencia en entradas y salidas de tuberías

El coeficiente de resistencia en una entrada de tubería con resalte en el interior, tal y como se muestra en la figura 3.7, es:

$$K_A = 0.78$$

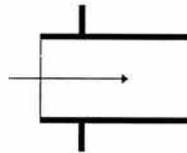


Figura 3.7 Entrada de tubería con resalte en el interior

El coeficiente de resistencia en una entrada de tubería redondeada como se muestra en la figura 3.8, se obtiene de acuerdo con la tabla 3.3.

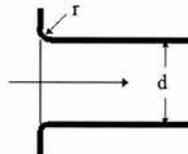


Figura 3.8 Entrada de tubería redondeada

r/d	0-00	0.02	0.04	0.06	0.10	≥0.15
K _A	0.50	0.28	0.24	0.15	0.09	0.04

Tabla 3.3 Factores de fricción para una tubería con entrada redondeada

El coeficiente de resistencia en una salida de tubería con resalte en el interior, tal y como se muestra en la figura 3.9, es:

$$K_A = 1.0$$

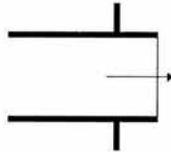


Figura 3.9 Salida de una tubería con resalte en el interior

El coeficiente de resistencia en una salida de tubería de cantos vivos como la mostrada en la figura 3.10, es:

$$K_A = 1.0$$

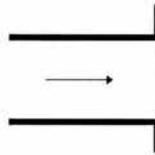


Figura 3.10 Salida de una tubería de cantos vivos

El coeficiente de resistencia en una salida de tubería redondeada, tal y como la que se muestra en la figura 3.11, es:

$$K_A = 1.0$$

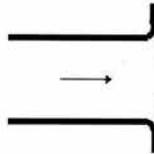


Figura 3.11 Salida de una tubería redondeada

Coefficientes de resistencia y longitud equivalente en válvulas y accesorios

Existen dos fuentes de información ampliamente utilizadas para obtener datos de los componentes de un sistema de tuberías:

- El manual “Hydraulic Institute Engineering Data Book”.
- El documento técnico “Crane Company Technical Paper 410”.

Ambas fuentes utilizan métodos diferentes de cálculo, ya que mientras el Instituto Hidráulico utiliza el coeficiente de resistencia “ K ” y distingue entre accesorios y válvulas atornillados o con bridas, la compañía Crane emplea la longitud equivalente para determinar el coeficiente de resistencia.

Debido a lo anterior, cada método obtiene un valor diferente para cada condición. Es práctica común de ingeniería tomar el valor más conservador para el coeficiente de resistencia, esto es, el más alto, para lograr un diseño adecuado.

En el anexo 1 de este trabajo se muestran los coeficientes de resistencia y las longitudes equivalentes para válvulas y accesorios obtenidos mediante los dos métodos enunciados anteriormente.

Pérdidas por cambios de dirección en tuberías

La pérdida de presión debido a dobleces o cambios de dirección en las tuberías se debe a dos razones:

- El flujo secundario que se genera por la rotación del fluido cuando cambia de dirección.
- La fricción en el dobléz.

La pérdida debida al flujo secundario no se da en la zona del dobléz, sino a una distancia equivalente a 50 veces el diámetro de la tubería corriente abajo.

El efecto del flujo secundario es el de un flujo totalmente turbulento e independiente del número de Reynolds; mientras que el efecto de la fricción depende de la rugosidad relativa y del número de Reynolds.

El factor de resistencia de un dobléz “ K_d ”, se calcula entonces mediante la ecuación de Piggot, mostrada en la ecuación 3.43.

$$K_d = 0.106 \left(\frac{D}{r} \right)^{2.5} + 2000 f^{2.5}$$

Ecuación 3.43 Coeficiente de resistencia para un dobléz

En donde: “ r ” es el radio del dobléz,
 ” D ” es el diámetro de la tubería, y
 “ f ” es el factor de fricción calculado en la ecuación 3.37.

Por lo tanto, la pérdida de presión generada por los dobleces de un sistema de tuberías se calcula mediante la ecuación 3.44.

$$H_d = \sum_e^s \left(K_d \frac{v^2}{2g_c} \right)_d$$

Ecuación 3.44 Pérdida de presión en los dobleces de un sistema de tuberías

Pérdidas por cambios de área en la tubería

El coeficiente de resistencia para el cambio de área debido a un aumento repentino en la tubería, tal y como se muestra en la figura 3.12, se calcula mediante la ecuación 3.45.

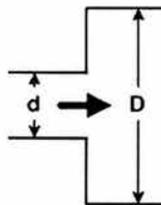


Figura 3.12 Aumento repentino del área en una tubería

$$K = \left[1 - \left(\frac{d}{D} \right)^2 \right]^2$$

Ecuación 3.45 Coeficiente de resistencia por incremento en cambio de área

El coeficiente de resistencia para el cambio de área debido a un incremento gradual en la tubería, tal y como se muestra en la figura 3.13, se obtiene de acuerdo con la ecuación 3.46, cuyos valores se obtienen de la tabla 3.4.

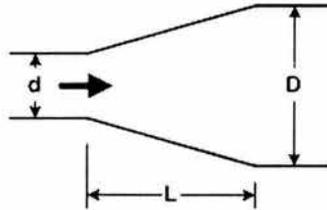


Figura 3.13 Aumento gradual del área en una tubería

$$K = K_o \left[1 - \left(\frac{d}{D} \right)^2 \right]^2$$

Ecuación 3.46 Coeficiente de resistencia por incremento en cambio de área

(D-d)/2L	0.05	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50
Ko	0.14	0.20	0.47	0.76	0.95	1.05

Tabla 3.4 Coeficiente de resistencia para un aumento gradual en la tubería

El coeficiente de resistencia para el cambio de área debido a un decremento repentino en la tubería, tal y como se muestra en la figura 3.14, se obtiene de acuerdo con la tabla 3.5.

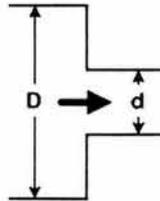


Figura 3.14 Disminución repentina del área en una tubería

D/d	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
K	0.28	0.36	0.40	0.42	0.44	0.46

Tabla 3.5 Coeficiente de resistencia para un decremento repentino en la tubería

El coeficiente de resistencia para el cambio de área debido a un decremento gradual en la tubería, tal y como se muestra en la figura 3.15, es:

$$K = 0.05$$

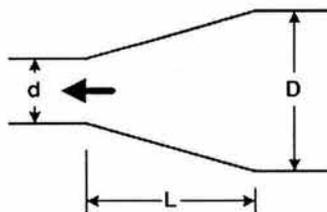


Figura 3.15 Disminución gradual del área en una tubería

En estos casos, también se asume que el flujo es turbulento e independiente del número de Reynolds. La pérdida de presión resultante de los cambios de área en un sistema de tuberías se calcula, entonces, con la ecuación 3.47.

$$H_a = \sum_c^s \left(K_a \frac{v^2}{2g_c} \right)_a$$

Ecuación 3.47 Pérdida de presión por cambios de área en tuberías

Pérdidas de energía a la salida del sistema de tuberías

La pérdida de presión debida a la salida del flujo del sistema de tuberías, considera invariablemente un coeficiente de resistencia con valor de 1; esto es:

$$K = 1$$

Por lo tanto, el valor de la caída de presión de salida “ H_s ” se calcula con la ecuación 3.48.

$$H_s = \frac{v^2}{2g_c}$$

Ecuación 3.48 Pérdida de presión a la salida del sistema de tuberías

Pérdidas de presión total en un sistema de tuberías

La pérdida de presión total en un sistema de tuberías es la suma de todas las pérdidas individuales calculadas, según se expresa en la ecuación 3.49.

$$H_T = H_e + H_{f_l} + H_{vA} + H_d + H_a + H_s$$

Ecuación 3.49 Pérdida de presión total en un sistema de tuberías

Considerando que la ecuación que determina la pérdida de energía o presión debido a la fricción de un fluido incompresible en una tubería es la ecuación 3.29, y considerando ahora la pérdida de presión total “ H_T ” debida a las características de la tubería, se tiene que la pérdida de presión total de un sistema de tuberías se calcula con la ecuación 3.50.

$$\frac{g}{g_c} (z_s - z_e) + \frac{v_s^2 - v_e^2}{2g_c} + v(p_s - p_e) + H_T = 0$$

Ecuación 3.50 Pérdida de presión total

De donde se obtiene la pérdida de presión total de un sistema, expresada en función de la ecuación de Bernoulli, como se muestra en la ecuación 3.51.

$$\frac{p_e - p_s}{\rho} = \frac{\Delta p_{sistema}}{\rho} = \frac{g}{g_c} (z_s - z_e) + \frac{v_s^2 - v_e^2}{2g_c} + H_T$$

Ecuación 3.51 Pérdida de presión total de un sistema expresada en función de la ecuación de Bernoulli.

3.5 Medición del gasto con base en la caída de presión en dispositivos convergentes

En general, todo dispositivo intercalado en el trayecto de un fluido provoca una caída de presión. El principio básico en el que se apoyan los medidores de presión variable, es que cuando una corriente de flujo se restringe, su presión disminuye en función al incremento de la velocidad de flujo en la restricción; entonces, la caída de presión entre los puntos anterior y posterior a la restricción puede utilizarse como un indicador de la velocidad de flujo.

Los dispositivos convergentes desempeñan la función de convertidores primarios de energía, pues al ser insertados en la tubería, originan un estrechamiento local de la sección de flujo, lo que da lugar a un aumento de la velocidad del fluido que circula por el conducto, y el consecuente incremento de la energía cinética del fluido en la sección reducida, lo que provoca la disminución de la presión estática.

De este modo al fluir un fluido a través de un dispositivo convergente, se origina una caída de presión " $P = P_{entrada} - P_{salida}$ " que depende de la velocidad de la corriente y por tanto, del caudal, de donde se puede deducir que la caída de presión originada por el dispositivo convergente puede servir para medir el gasto o caudal del fluido a través de la tubería.

La medida de caudal es, junto con la medida de presión y temperatura, la que se realiza con más frecuencia en la industria. Entre las innumerables aplicaciones destacan las medidas en la industria necesarias para el control y regulación de los procesos industriales.

Todo esto explica el desarrollo extraordinario que ha experimentado la instrumentación de medida de caudales en los últimos años y la variedad inmensa de procedimientos e instrumentos que se han desarrollado para la medida, transmisión a distancia, control y registro de los mismos.

Los instrumentos para medir caudales se les conoce como caudalímetros, siendo la característica esencial de todos ellos, el ser un instrumento que mide el flujo instantáneo, que puede variar de un momento a otro.

Los caudalímetros para la medición de flujo en tuberías más importantes, se pueden reunir en dos grupos: caudalímetros de área de paso constante y caudalímetros de área de paso variable. Los caudalímetros de área de paso constante son el objeto de nuestro estudio.

Caudalímetros de área de paso constante

Todos los instrumentos de esta clase constan esencialmente de dos elementos: un elemento depresor de la presión, es decir, que provoca una caída de presión, y un manómetro diferencial, que mide la presión final.

Es característico de estos instrumentos, que el caudal es proporcional a la raíz cuadrada de la caída de presión provocada por el elemento depresor y es preciso extraer esta raíz cuadrada para medir el caudal.

Los caudalímetros con constricción más importantes, y de amplio uso en la medida de caudales con líquidos y gases, son tres: el tubo Vénturi, las toberas, y las placas de orificio.

Capítulo IV. Diseño conceptual del mezclador de gases

El objetivo de este capítulo es presentar una alternativa para obtener una mezcla de dos gases, no reactivos químicamente entre sí, que conjugados formen una atmósfera inerte para los procesos de soldadura.

4.1 Especificaciones requeridas

Se pretende habilitar una línea de ensamble de tanques estacionarios, con el propósito de fabricar 650 tanques de 300 litros de capacidad por día en dos turnos de 8.5 y 7 horas respectivamente; para ello, se requieren 30 estaciones de soldadura automática a las que hay que proveer una mezcla de gas formada por argón y bióxido de carbono, como gas de protección a razón de tres a uno, esto es, 25% bióxido de carbono y 75% de gas argón. Para obtener la producción deseada, las máquinas soldadoras tendrán un consumo de 45 [ft³/hr] operando a una presión de 40 a 50 [psi].

Con el fin de proporcionar el gas de protección mencionado, se requiere un equipo que se conecte a la línea de suministro de los gases, los mezcle en la proporción y presión adecuadas y los envíe a través de la tubería instalada hasta las máquinas soldadoras.

La mezcla de gas deberá llegar a las soldadoras con la presión adecuada, y considerando que la tubería instalada tiene un diámetro de 1 in, una longitud de 123 [m], y presenta diversos codos y uniones; así como que en la localidad en que se encuentra el fabricante de tanques hay una presión atmosférica de 11.8 [psi].

La instalación de suministro presenta como requisito el arreglo mostrado en la figura 4.1.

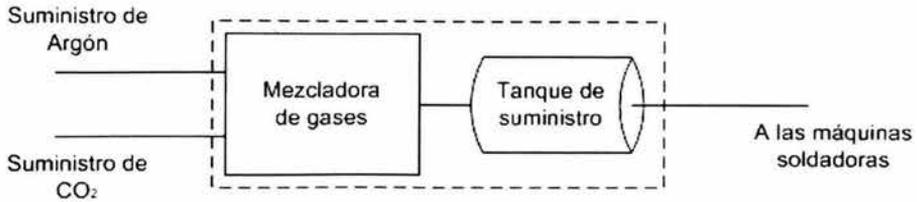


Figura 4.1 Instalación de suministro

4.2 Definición de sistemas

De acuerdo a los requerimientos establecidos, se mezclarán gas argón con bióxido de carbono, siendo el primero el de mayor proporción o “gas mayor”, y el segundo el de menor proporción o “gas menor”.

Para llevar a cabo la mezcla, la propuesta de diseño de una mezcladora de gases, está fundamentada en la conjugación de diversos sistemas que permiten la integración de los dos gases, no reactivos entre sí, para formar una mezcla con las características específicas requeridas en un proceso de soldadura.

El proyecto de la mezcladora se encuentra compuesto por varios sistemas, como son: el sistema de admisión, el sistema de tubería, el sistema de control, el sistema de almacenamiento, el sistema eléctrico, el sistema de medición, sistema de calibración, el sistema de seguridad y el sistema de suministro. En la figura 4.3 se muestra un diagrama de bloques con todos los sistemas involucrados, mismos que se describen a continuación.

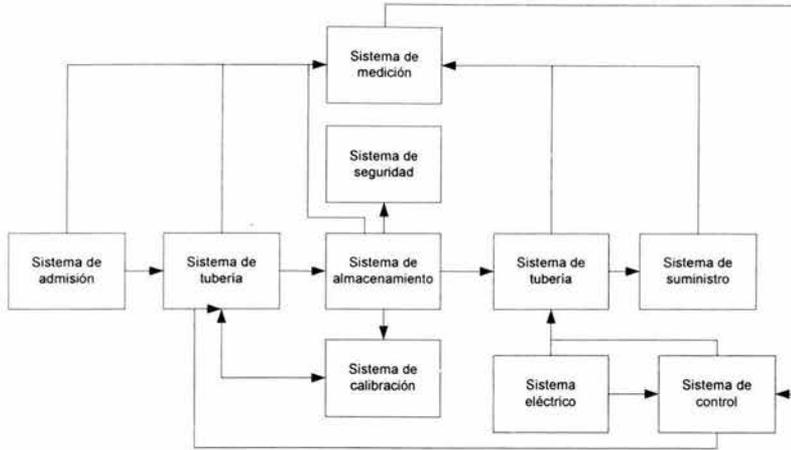


Fig. 4.3 Diagrama de bloques de todos los sistemas

4.2.1 Sistema de admisión

El sistema encargado de recibir los dos gases a mezclar es el de admisión, cuyo diagrama de bloques se muestra en la figura 4.4. Este sistema se define como un suministro de gases compuesto por dos tuberías: la que transporta al gas mayor y la que transporta al gas menor. Ambas tuberías llevan los gases desde la línea de suministro del proveedor hasta la entrada de la mezcladora, y estarán provistas de una válvula de globo, cada una, a la entrada.

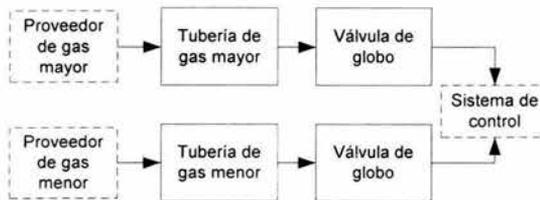


Fig. 4.4 diagrama de bloques del sistema de admisión

La válvula de globo se utiliza para regular el flujo del fluido. Este tipo de válvula se ha diseñado para evitar al máximo turbulencias en los fluidos, y su lento cierre evita golpes de ariete y

cavitación en la línea del fluido. Las partes principales que componen una válvula de globo se muestran en la figura 4.5.

La válvula se coloca a la entrada de la mezcladora para regular el flujo inicial del gas, tanto para la línea de gas mayor como para la línea de gas menor.

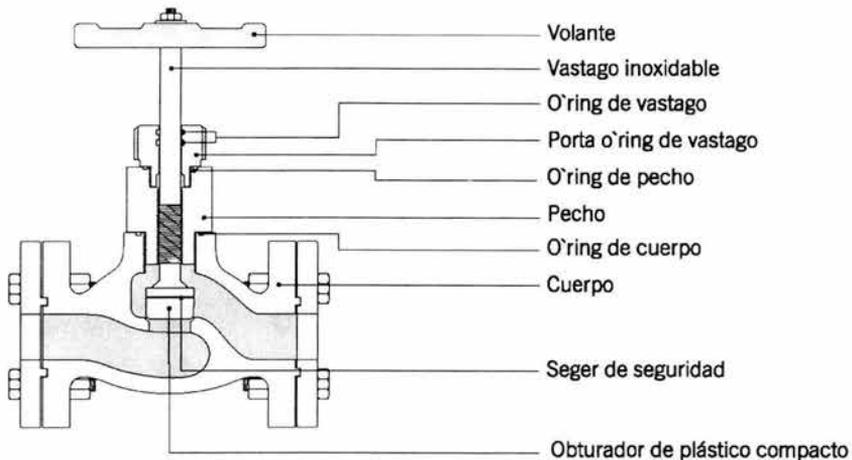


Figura 4.5 Válvula de globo

4.2.2 Sistema de tuberías

El sistema de tuberías es el encargado de transportar los gases a ser mezclados desde los tanques de suministro de los gases, hasta la entrega del gas mezclado en las estaciones de soldadura.

Este sistema está compuesto por los tubos que le dan forma y todas las válvulas y accesorios que se encuentran distribuidos a través de toda la línea.

El material más comúnmente empleado para una tubería es el acero con cédulas (espesor) desde 10 hasta 80.

El material y la disposición de los elementos de una tubería definirá las condiciones del flujo que se obtendrán a la salida del sistema.

4.2.3 Sistema de control

El sistema de control es el encargado de llevar a cabo las funciones de encendido y apagado de la mezcladora y del control del flujo de los gases. Este sistema contiene los siguientes elementos principales:

- Una válvula reguladora de presión en la tubería de gas mayor y otra en la tubería de gas menor, para el ajuste del flujo a la presión requerida.
- Una válvula check en ambas tuberías, para evitar que los gases regresen por la tubería.
- Una válvula de aguja en la tubería de gas menor, para el ajuste fino de la relación de la mezcla.
- Una placa de orificio en la tubería de gas mayor, para calibrar el flujo de la línea.
- Un interruptor de presión para asegurar presión en la línea antes de operar cada una de las tuberías.
- Una válvula solenoide para permitir el flujo de la mezcla.

En la figura 4.6 se muestra un diagrama de bloques de este sistema.

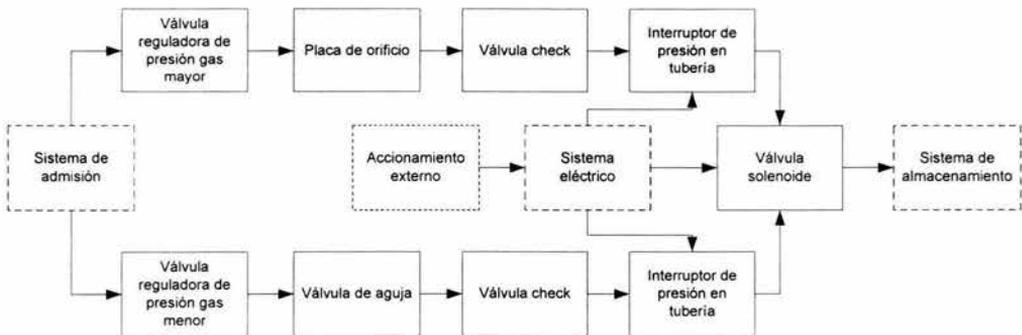


Fig. 4.6 Sistema de control

Las válvulas reguladoras tienen por objeto limitar la presión en la rama de un circuito a un valor inferior de la presión de trabajo del circuito principal. Permiten que un mismo sistema trabaje a dos presiones, ayudando con la economía de los componentes de la parte de baja presión. Estas válvulas tienen dos resortes: uno más fuerte en la parte superior y otro más débil en la parte inferior, sirviendo este último sólo para mantener el émbolo en posición. El fluido entra en la válvula desde la línea de alta presión, fluye por debajo y alrededor de la parte estrecha del émbolo y sale por el otro lado de la válvula a la línea de baja presión. En la figura 4.7 se muestran las partes principales de una válvula reguladora típica.

1. Tornillo de ajuste
2. Contratuercas
3. Cámara del resorte
4. Empujador del resorte
5. Resorte ajustable
6. Tapa del resorte
7. Diafragma
8. Asiento
9. Válvula principal
10. Cuerpo de la válvula
11. Resorte

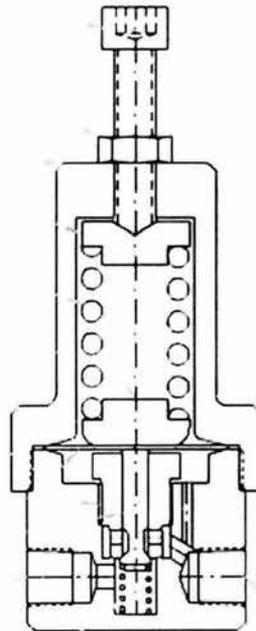


Figura 4.7 Válvula reguladora de presión

La válvula check tiene como función evitar el retorno del flujo del fluido; esto es, que el fluido sólo fluye en una dirección, eliminando la posibilidad de que se contaminen los gases puros con gases mezclados. Estas válvulas comúnmente se conocen como válvulas de columpio y pueden tener otros mecanismos de operación de acuerdo con la aplicación. En la figura 4.8 se muestra una válvula check típica.

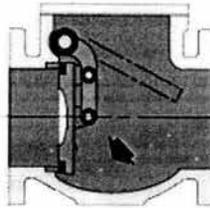


Figura 4.5 Válvula check

La placa de orificio propuesta en el sistema de control es una placa de metal que lleva un orificio circular concéntrico con el eje de la tubería y que se instala entre 2 bridas porta placa. Su función es la de reducir la presión del fluido y cambiar su velocidad a la salida del orificio, cambiando su flujo turbulento en laminar.

La válvula de aguja se utiliza para regular el flujo del fluido de manera más precisa. Para el caso de la mezcladora de gases, esta válvula se coloca en la línea de gas menor, ya que en la línea del gas mayor se encuentra una placa de orificio calibrada a un valor fijo, permitiendo ajustar la relación exacta que se requiere para la mezcla. En la figura 4.9 se muestra un esquema de una válvula de aguja típica.

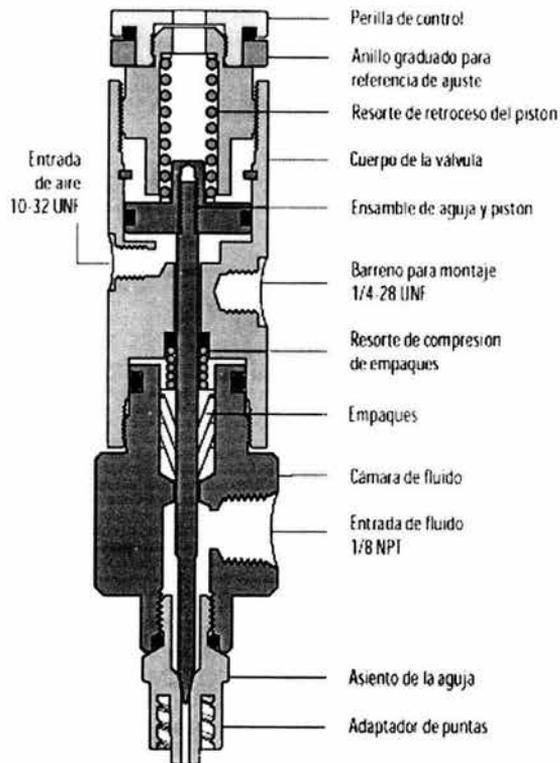


Figura 4.6 Válvula de aguja

La válvula solenoide propuesta permite o impide el paso del fluido.

El interruptor de presión del sistema es un elemento mecánico eléctrico, que mide la presión de un recipiente y envía una señal eléctrica con fines de control y de habilitación de otros componentes como las válvulas solenoides. Es así que al haber presión en la línea de alimentación del gas, el interruptor de presión mantiene cerrado al circuito y permite el funcionamiento de todo el sistema; en el caso de que no exista presión suficiente en la línea, el circuito no se cierra en el punto del interruptor de presión y el sistema completo no opera.

4.2.4 Sistema de almacenamiento

El sistema de almacenamiento tiene la función de contener la mezcla del gas de protección en la proporción requerida y a la presión necesaria para el suministro a una aplicación. Este sistema está integrado básicamente por un tanque de almacenamiento, el que es un contenedor que tiene la función de mantener al producto en las condiciones necesarias para suministrarlo a la aplicación específica. En la figura 4.10 se muestra un diagrama de bloques de este sistema.

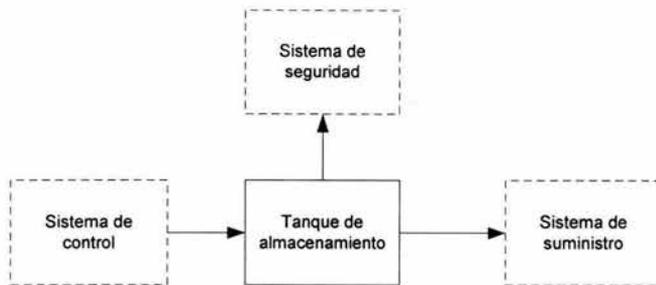


Fig. 4.10 Sistema de almacenamiento

4.2.5 Sistema de medición

Este sistema tiene la función de controlar y verificar las presiones en cada uno de los pasos del proceso, para lo que necesita integrar medidores de presión para la inspección rutinaria del equipo y evitar, así, cualquier mal funcionamiento que origine la pérdida de confiabilidad en la calidad de la mezcla requerida.

Las presiones que requieren ser monitoreadas y controladas son: la presión del gas mayor, la presión del gas menor, la presión del tanque de almacenamiento y la presión de la línea de suministro al área de consumo. En la figura 4.11 se muestra un diagrama de bloques de este sistema.

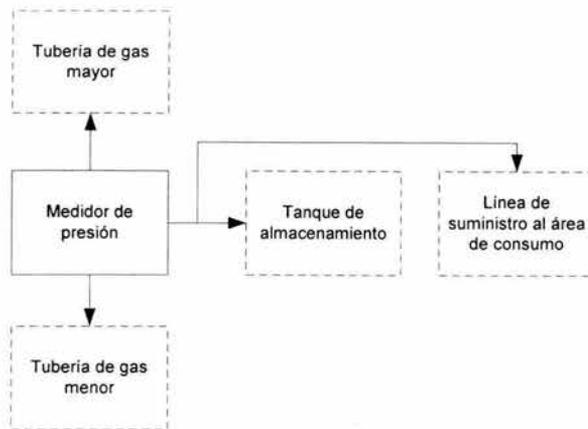


Fig. 4.11 Sistema de medición

4.2.6 Sistema de calibración

El desarrollo de un sistema de calibración es sumamente necesario para certificar la calidad de la mezcla y garantizar los porcentajes óptimos para obtener un proceso de soldadura limpio y con la adherencia requerida; sin embargo, retomando el propósito de elaborar una mezcladora de bajo costo, este sistema tendrá la función de poder conectar analizadores comerciales a la mezcladora, logrando también evitar la obsolescencia del equipo con la llegada de nuevos analizadores.

El analizador requiere una referencia para poder determinar el porcentaje contenido en la mezcla, por lo que se conectará a la tubería del gas mayor y lo referenciará con el gas en el tanque mezclador. En la figura 4.12 se muestra un diagrama de bloques de este sistema.

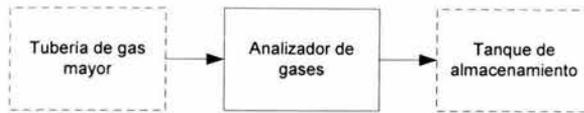


Fig. 4.12 Sistema de calibración

4.2.7 Sistema eléctrico

El sistema eléctrico tiene la sola función de suministrar corriente eléctrica al interruptor de presión del tanque, a las válvulas solenoides y a los elementos del sistema de control. En la figura 4.13 puede observarse el sistema eléctrico y su interacción con los demás sistemas.

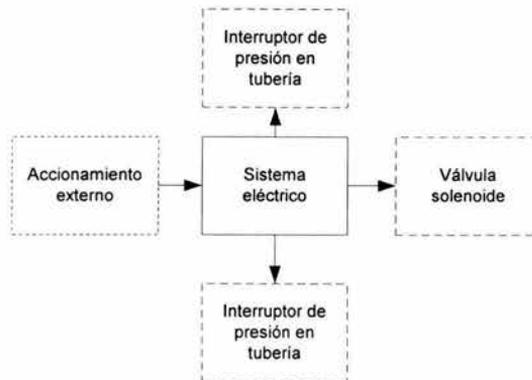


Fig. 4.13 Sistema eléctrico

4.2.8 Sistema de seguridad

Dadas las condiciones de presión que se manejan en la mezcladora, se propone instalar un sistema de seguridad cuyo objetivo principal sea el de eliminar la posibilidad de un aumento excesivo en la presión del tanque de almacenamiento y proveer un medio mecánico para su disminución a niveles no riesgosos por medio de una válvula de seguridad. En la figura 4.14 se observa este sistema y su relación con el tanque de almacenamiento.



Fig. 4.14 Sistema de seguridad

El equipo principal de este sistema es una válvula de seguridad, la cual limita la presión del circuito para protegerlo, y suele ser ajustable para graduar la presión del sistema. En la figura 4.15 se presenta un esquema de una válvula de seguridad.

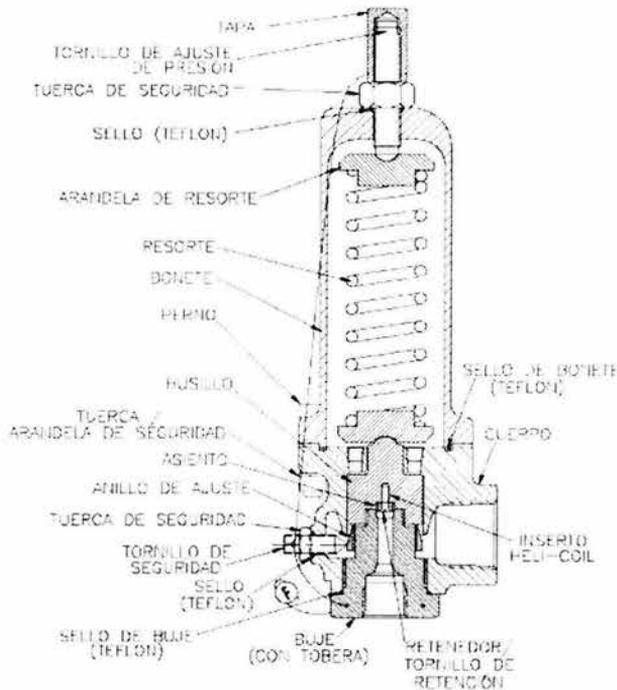


Fig. 4.15 Válvula de seguridad

4.2.9 Sistema de suministro

Este sistema tiene la función de entregar la mezcla de los gases desde el tanque de almacenamiento hasta la línea de consumo. Es de suma importancia que el sistema mantenga la presión del fluido a lo largo de toda su trayectoria; para ello, se utilizan: una válvula de regulación que verifica la presión de trabajo y una válvula de globo para permitir o impedir el flujo del fluido. La válvula de globo no es un elemento restrictivo, ya que mientras el tanque esté en funcionamiento, se encuentra totalmente abierta. En la figura 4.16 se muestra un diagrama de bloques de este sistema.

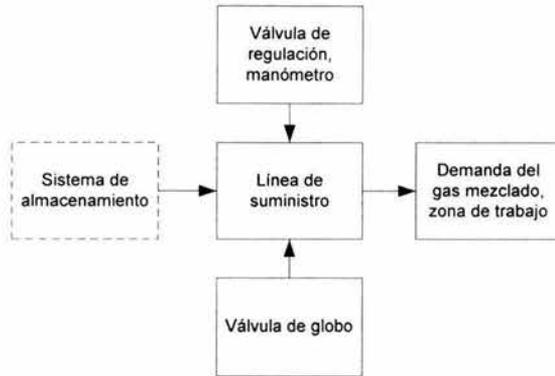


Fig. 4.16 Sistema de suministro

4.4 Propuesta conceptual

Una vez presentados los sistemas básicos fundamentales, se presenta el diseño de la mezcladora que se basa principalmente en una línea de gas mayor y una línea de gas menor que concurren en el tanque de almacenamiento, de donde se provee la mezcla a una línea de suministro de una aplicación. En la figura 4.17 se muestra un esquema de este diseño.

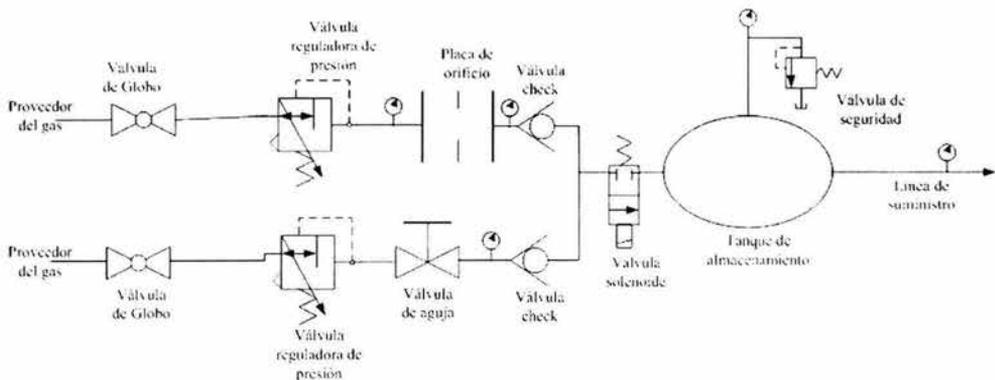


Fig. 4.17, Esquema general de la mezcladora

La presión del tanque de almacenamiento es monitoreada por un manómetro y controlada por un interruptor de presión, el cual envía una señal a la válvula solenoide que controla el flujo de la mezcla hacia el tanque.

Descripción de la línea de gas mayor

La línea de gas mayor está provista por una válvula reguladora de presión que disminuye la presión del gas, la que se mantiene constante en este punto debido a las propiedades de la válvula; posteriormente y con la presión controlada, el siguiente elemento es una placa de orificio, que disminuye la presión a la mitad o menos para que pueda ser controlado el flujo; a continuación, se encuentra una válvula check para controlar que la mezcla de gas no contamine la línea de gas puro; después, el arreglo se conecta con el proveniente de la línea del gas menor y, unidos, se conectan con el arreglo de alimentación al tanque de almacenamiento.

Descripción de la línea de gas menor

La línea de gas menor está compuesta por una válvula reguladora de presión que disminuye la presión del gas, la que se mantiene constante en este punto debido a las propiedades de la válvula; posteriormente y con la presión controlada, el siguiente elemento es una válvula de aguja, que disminuye la presión y permite la graduación para obtener el flujo necesario por el porcentaje de mezcla requerido; a continuación, se coloca una válvula check para controlar que la mezcla de gas no contamine la línea de gas puro; seguidamente, el arreglo se conecta con el proveniente de la línea del gas mayor y, unidos, se conectan con el arreglo de alimentación al tanque de almacenamiento.

Capítulo V. Desarrollo del proyecto del mezclador de gases

El objetivo de este capítulo es presentar la memoria de cálculo del proyecto de la mezcladora de gases en sus diferentes sistemas; así como, la selección de componentes que cumplen con los requerimientos para su desarrollo.

5.1 Planteamiento del diseño

De acuerdo con las especificaciones dadas en el capítulo IV, se procede al cálculo de los elementos que conforman el proyecto de la mezcladora de gases.

El punto de suministro de gases de protección en las 30 máquinas de soldar, deberá estar compuesto por un ramal de tubería con una longitud total de 123 [m], incluyendo todas sus ramificaciones; para la que se calcula la pérdida de presión a lo largo de todo el sistema de suministro, tal y como se muestra en la figura 5.1.

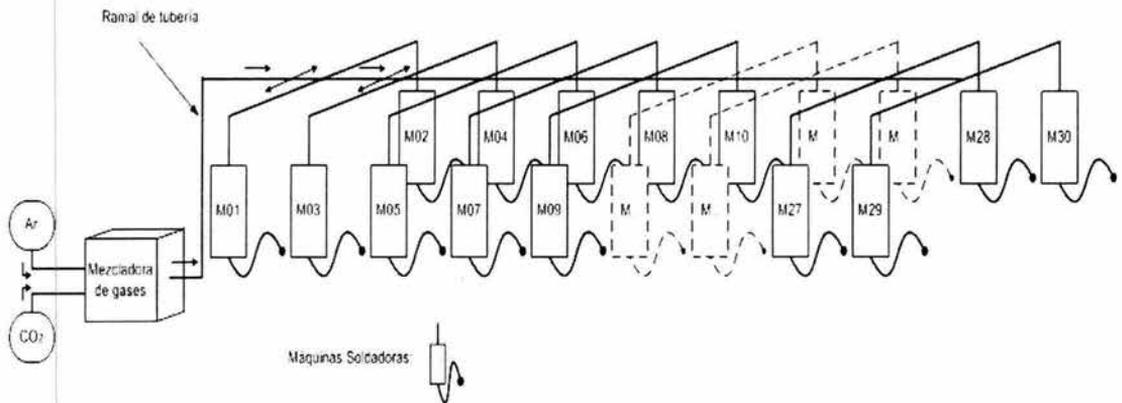


Fig. 5.1, Esquema general de la instalación

5.2 Cálculo de la pérdida de presión en el ramal de suministro

Considerando la figura 5.2 en la que se muestran los elementos que componen el ramal principal. La pérdida de presión se calcula en cada uno de dichos elementos, para evaluar el diferencial de presión a lo largo de toda la trayectoria.

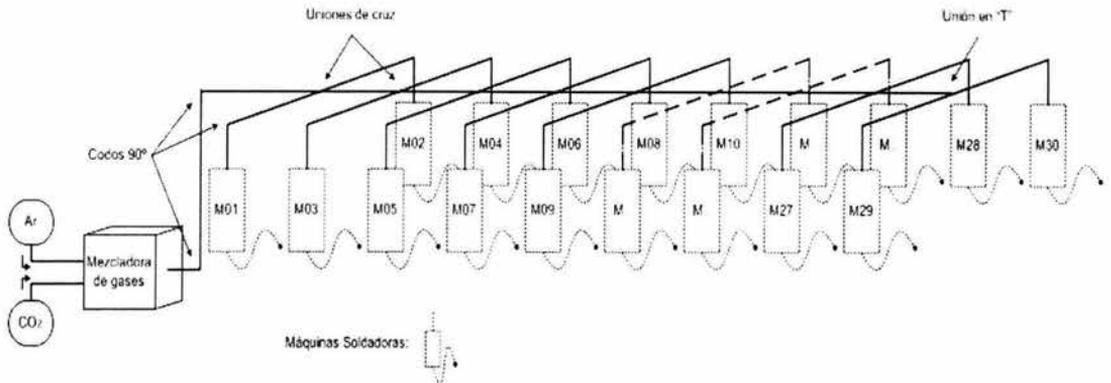


Figura 5.2 Elementos principales en la tubería de suministro

Cálculos en la tubería de suministro

Debido a que la función principal de la mezcladora de gases es proporcionar una mezcla de argón y bióxido de carbono en la proporción y presión dadas, es de suma importancia calcular la pérdida de presión que la mezcla de gases experimentará debido a los elementos que componen al ramal principal de suministro y a su longitud, y considerar dicha pérdida en la presión que debe tener la mezcla de gases en el tanque de almacenamiento, con el fin de que cuando dicha mezcla llegue a las máquinas soldadoras, tenga la presión adecuada. Para ello, es necesario conocer primero la velocidad del gas en la tubería, lo que se calcula usando la ecuación 5.1.

$$v = \frac{3.06 * W}{\rho d^2}$$

Ecuación 5.1 Velocidad en una tubería

En donde: “v” es la velocidad del gas medida en [ft/min],
“W” es el flujo másico en [lb/hr],
“ρ” es la densidad del fluido en [lb/ft³],
“d” es el diámetro de la tubería medido en [in], y
3.06 es el factor de conversión entre las distintas unidades.

El flujo másico “W”, a su vez, se calcula mediante la ecuación 5.2.

$$W = \phi \rho$$

Ecuación 5.2 Flujo másico

En donde “φ” es el flujo en [ft³/hr].

La densidad “ρ” de la mezcla, se calcula usando la ecuación 5.3.

$$\rho = \frac{P(PM)}{RT}$$

Ecuación 5.3 Densidad en función del peso molecular

En donde: “P” es la presión del flujo medido en [psi],
“PM” es el peso molecular en [GM/g_{mol}],
“R” es la constante de los gases equivalente a 10.73, y
“T” es la temperatura en [°R].

Dicha ecuación requiere el peso molecular de la mezcla, el que se calcula mediante la ecuación 5.4.

$$PM = \sum_{i=1}^n \%G_i PM_{G_i}$$

Ecuación 5.4 Peso molecular de una mezcla de gases

En donde: “%G_i” es la proporción de cada gas en la mezcla, de acuerdo con la tabla 5.1, y
 “PM_{G_i}” es el peso molecular de cada gas en la mezcla, medido en [GM/gmol].

Gas	Peso Molecular	Proporción en la Mezcla
Ar	39.95	75%
CO ₂	44.01	25%

Tabla 5.1 Pesos moleculares y proporciones del argón y bióxido de carbono en la mezcla

Substituyendo los valores de la tabla 5.1 en la ecuación 5.4, se tiene:

$$PM = (0.75)(39.95 \text{ GM/ gmol}) + (0.25)(44.01 \text{ GM/ gmol}) = 40.965 \text{ GM/ gmol}$$

Peso molecular de la mezcla de argón y bióxido de carbono

Substituyendo en la ecuación 5.3 el peso molecular obtenido de 40.965, la presión del flujo de 45 [psi], la constante de los gases de 10.73, y considerando una temperatura ambiente de 20 [°C], equivalentes a 527.67 [°R], se tiene:

$$\rho = \frac{(45 \text{ psi}) (40.965 \text{ GM/ gmol})}{(10.73) (527.67^\circ \text{ R})} = 0.3256 \text{ lb/ ft}^3$$

Densidad de la mezcla de argón y bióxido de carbono

Que es la densidad de la mezcla de gases. Considerando esta densidad y un flujo de 45 [ft³/hr] por máquina (véase el apartado 4.1 en donde se exponen las especificaciones) y las 30 máquinas de soldar involucradas, se tiene que el flujo másico, en virtud de la ecuación 5.2, es:

$$W = (45 \text{ ft}^3/\text{hr}) (0.3256 \text{ lb}/\text{ft}^3) (30 \text{ máquinas}) = 439.56 \text{ lb}/\text{hr}$$

Flujo másico de la mezcla

Que es el flujo másico del modelo. Substituyendo en la ecuación 5.1 los valores encontrados y considerando un tubo cédula 40 de 1.049 [in] de diámetro nominal, se tiene que la velocidad de la mezcla de gases es:

$$v = \frac{(3.06) \left(439.56 \text{ lb}/\text{hr} \right)}{\left(0.03256 \text{ lb}/\text{ft}^3 \right) (1.049 \text{ in})^2} = 3,754.0860 \text{ ft}/\text{min}$$

Velocidad de la mezcla

Una vez calculado lo anterior, se procede a calcular la caída o diferencial de presión de la mezcla, usando la ecuación 5.5 que se deriva de la ecuación de Darcy.

$$\Delta P_{100} = 0.000336 \frac{fW^2}{d^5 \rho}$$

Ecuación 5.5 Diferencial de presión

En donde: “ ΔP_{100} ” es el diferencial de presión medido en [psi],
 “ f ” es el factor de fricción de la tubería,
 “ W ” es el flujo másico medido en [lb/hr],
 “ d ” es el diámetro de la tubería medido en [in], y
 “ ρ ” es la densidad del fluido en [lb/ft³].

El factor de fricción “ f ” se obtiene del diagrama de Moody, mostrado en la figura 3.6, a partir del número de Reynolds y el diámetro de la tubería. Conociendo que el diámetro de la tubería es de 1 [in], sólo resta obtener el número de Reynolds de la mezcla, el cual se calcula con la ecuación 5.6.

$$R_e = 2.062 \frac{v \rho d}{\mu}$$

Ecuación 5.6 Número de Reynolds.

En donde: “ μ ” es la viscosidad absoluta de la mezcla medida en [centipoises] y cuyos valores se muestran en la tabla 5.2, y

“2.062” es el factor de conversión para las unidades de medida involucradas.

Gas	μ [centipoises]	μ [lb s / ft ²]
Ar	0.0223599	4.67×10^{-7}
CO ₂	0.0148428	3.10×10^{-7}

Tabla 5.2 Viscosidad absoluta del argón y del bióxido de carbono

Considerando la proporción de cada gas en la mezcla, se tiene que la viscosidad absoluta de la mezcla es:

$$\mu = (0.75) (0.0224 \text{ centipoises}) + (0.25) (0.0148 \text{ centipoises}) = 0.0205 \text{ centipoises}$$

Viscosidad absoluta de la mezcla de gases

Substituyendo los valores correspondientes en la ecuación 5.6, se tiene:

$$R_e = 2.062 \frac{(3,754.086 \cdot ft / min)(0.3256 lb / ft^3) * (1.049 in)}{0.0205 \text{ centipoises}} = 129,095.0402$$

Número de Reynolds de la mezcla

Que es el número de Reynolds de la mezcla. Con este número y utilizando el nomograma 5.1, se obtiene que el factor de fricción “ f ” del ramal principal del sistema es:

$$f \approx 0.0235$$

Factor de fricción en el ramal principal

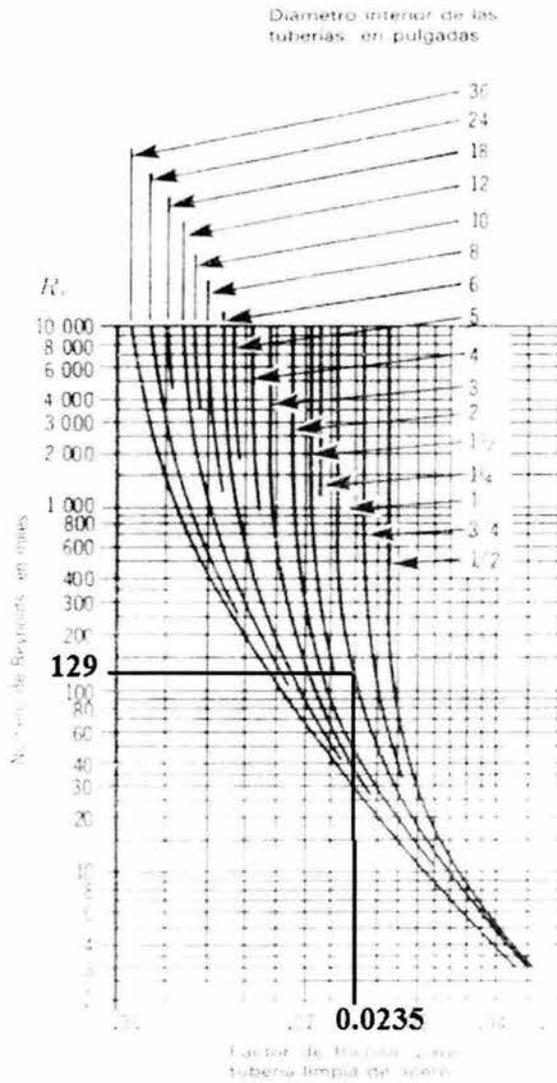
Con estos datos, y en virtud de la ecuación 5.5, se tiene que el diferencial de presión es:

$$\Delta P_{100} = 0.000336 \frac{(0.0235)(439.56 lb / hr)^2}{(1.049 in)^5 * (0.3256 lb / ft^3)} = 3.6888 lb / ft^2$$

Lo que representa una caída de presión total a todo lo largo del ramal de:

$$\Delta P_T = 3.6888 \left(\frac{403.563}{100} \right) = 14.8865 lb / in^2$$

Este diferencial se suma a la presión de suministro especificada, de forma tal que el sistema entregue la presión necesaria a las máquinas soldadoras.



Nomograma 5.1 Factor de fricción y número de Reynolds en función del diámetro interno de una tubería

Cálculo de la caída de presión en válvulas y accesorios

La pérdida de presión en válvulas y accesorios se calcula mediante la ecuación 5.7.

$$\Delta P = 0.0000000300K\rho v^2$$

Ecuación 5.7 Diferencial de presión en válvulas y accesorios

En donde: “ ΔP ” es el diferencial de presión medido en [psi],
 “ K ” es el coeficiente de resistencia, que indica la pérdida de altura de presión estática en una válvula o accesorio, y que se obtiene en función del factor de fricción de acuerdo con el anexo A-1,
 “ ρ ” es la densidad del fluido en [lb/ft³], y
 “ v ” es la velocidad del gas en [ft/min]

Pérdida de presión en un codo de 90°

Haciendo referencia al anexo A-1 y considerando que el diámetro del accesorio es de 1 [in], se tiene que el coeficiente de resistencia “ K ” es:

$$K = 30f = (30)(0.0239) = 0.7170$$

Coeficiente de resistencia en un codo de 90°

Substituyendo en la ecuación 5.7 el coeficiente de resistencia encontrado, la densidad de 0.3256 [lb/ft³], y la velocidad calculada de 3,754 [ft/min], se tiene que el diferencial de presión en el codo de 90° es:

$$\Delta P_c = (0.000000030) (0.717) (0.3256 \text{ lb/ft}^3) (3,754.0860 \text{ ft/min})^2 = 0.0987 \text{ psi}$$

Pérdida de presión en un codo de 90° de 1[in] de diámetro

Pérdida de presión en una unión “T”

Haciendo referencia al anexo A-1 y considerando que el diámetro del accesorio es de 1 [in], se tiene que el coeficiente de resistencia “K” es:

$$K = 60f = (60)(0.0239) = 1.4340$$

Coeficiente de resistencia en una unión “T”

Substituyendo en la ecuación 5.7 el coeficiente de resistencia encontrado, la densidad de 0.3256 [lb/ft³], y la velocidad calculada de 3,754 [ft/min], se tiene que el diferencial de presión en la unión “T” es:

$$\Delta P_t = (0.000000030) (1.4340) (0.3256 \text{ lb/ft}^3) (3,754.0860 \text{ ft/min})^2 = 0.1974 \text{ psi}$$

Pérdida de presión en una unión “T” de 1[in] de diámetro

El ramal principal está formado por tubería, codos y uniones “T”, y debido a que la pérdida de presión en estos elementos no representa un impacto importante, se considera que el gasto total solamente se consume en la longitud total del ramal; sin embargo, para fines de este proyecto, es importante evaluar las pérdidas de presión en estos elementos y en las válvulas instaladas en el ramal, para determinar qué proporción representan de la pérdida de presión total y así decidir si estas pérdidas de presión se consideran o no despreciables.

Pérdida de presión en una válvula de globo

Haciendo referencia al anexo A-1 y considerando que el diámetro del accesorio es de 3/4 [in], se tiene que el coeficiente de resistencia “K” es:

$$K = 340f = (340)(0.0250) = 8.5$$

Coeficiente de resistencia en una válvula de globo

Substituyendo en la ecuación 5.7 el coeficiente de resistencia encontrado, la densidad de 0.3256 [lb/ft³], y la velocidad calculada de 3,754 [ft/min], se tiene que el diferencial de presión en la válvula de globo es:

$$\Delta P_{vg} = (0.000000030) (8.5) (0.3256 \text{ lb/ft}^3) (3,754.0860 \text{ ft/min})^2 = 1.1701 \text{ psi}$$

Pérdida de presión en una válvula de globo de 3/4 [in] de diámetro

Pérdida de presión en una válvula check

Haciendo referencia al anexo A-1 y considerando que el diámetro del accesorio es de 3/4 [in], se tiene que el coeficiente de resistencia “K” es:

$$K = 100f = (100)(0.0250) = 2.5$$

Coeficiente de resistencia en una válvula check

Substituyendo en la ecuación 5.7 el coeficiente de resistencia encontrado, la densidad de 0.3256 [lb/ft³], y la velocidad calculada de 3,754 [ft/min], se tiene que el diferencial de presión en la válvula check es:

$$\Delta P_{veh} = (0.000000030) (2.5) (0.3256 \text{ lb/ft}^3) (3,754.0860 \text{ ft/min})^2 = 0.3442 \text{ psi}$$

Pérdida de presión en una válvula check de ¼ [in] de diámetro

Pérdida de presión total

Considerando los cálculos anteriormente realizados, se tiene que la caída de presión en la tubería de suministro es de:

$$\Delta P_T = 14.8865 \text{ lb/in}^2$$

Pérdida de presión en la tubería de suministro

Y la pérdida de presión de los accesorios es:

$$\Delta P_a = \Sigma \Delta P_c + \Sigma \Delta P_t + \Sigma \Delta P_{vg} + \Sigma \Delta P_{veh}$$

Pérdida de presión total debida a los accesorios de la tubería de suministro

Substituyendo los datos calculados:

$$\Delta P_a = 0.0987 \text{ psi} + 0.1974 \text{ psi} + 1.1701 \text{ psi} + 0.3442 \text{ psi} = 1.8104 \text{ psi}$$

Lo que da una pérdida de presión total en el ramal de suministro de:

$$\Delta P_r = \Delta P_T + \Delta P_a = 14.8865 \text{ psi} + 1.8104 \text{ psi} = 21.5834 \text{ psi}$$

Pérdida de presión total en el ramal de suministro

5.3 Cálculos para los elementos de la mezcladora de gases

Debido a la poca cantidad de componentes necesarios para el desarrollo de la mezcladora de gases y al poco espacio existente entre ellos, la caída de presión por efecto de la tubería se considera despreciable en las líneas de gas mayor, de gas menor y de la mezcla. Así mismo, se propone utilizar componentes de 3/4 [in] para realizar el arreglo.

5.4 Flujo requerido de mezcla

De acuerdo con las especificaciones de la mezcladora, se requiere alimentar 30 máquinas soldadoras con un consumo volumétrico de 45 [ft³/hr], por lo que el flujo total de gas requerido es:

$$\text{Flujo} = (45 \text{ ft}^3/\text{hr}) (30 \text{ máquinas}) = 1,350.00 \text{ ft}^3/\text{hr}$$

Flujo total de gas requerido

De lo que se obtiene que el flujo requerido de gas argón es:

$$\text{Flujo}_{Ar} = (1,350.00 \text{ ft}^3/\text{hr}) (0.75) = 1,012.50 \text{ ft}^3/\text{hr}$$

Flujo de gas argón requerido

Y el flujo requerido de bióxido de carbono es:

$$\text{Flujo}_{CO_2} = (1,350.00 \text{ ft}^3/\text{hr}) (0.25) = 337.50 \text{ ft}^3/\text{hr}$$

Flujo de bióxido de carbono requerido

Estos valores sirven de referencia para el flujo del gas mayor y menor.

5.5 Selección de materiales para el proyecto de la mezcladora

Existe una amplia variedad comercial de válvulas, accesorios, tanques y tuberías que pueden ser empleados para la configuración de la mezcladora de gases; por lo que en este apartado se procede a seleccionar aquellos elementos que, de acuerdo con las condiciones de operación calculadas, como son: la presión y el flujo requerido, son los más adecuados.

Las marcas y modelos que a continuación se proponen, cumplen con los requerimientos de la mezcladora de gases diseñada y cuentan con una presencia en el mercado nacional que permite obtenerlas con facilidad y contar con soporte técnico capacitado para su instalación, reparación, obtención de repuestos y, de ser necesario, sustitución.

5.5.1 Propuesta de la línea de gas mayor

La línea de gas mayor, mostrada en la figura 5.3, está compuesta por un sistema de tubería de 3/4 de pulgada, una válvula reguladora de presión, una placa de orificio como elemento restrictor para controlar el flujo del gas, y una válvula check para impedir el regreso del gas.

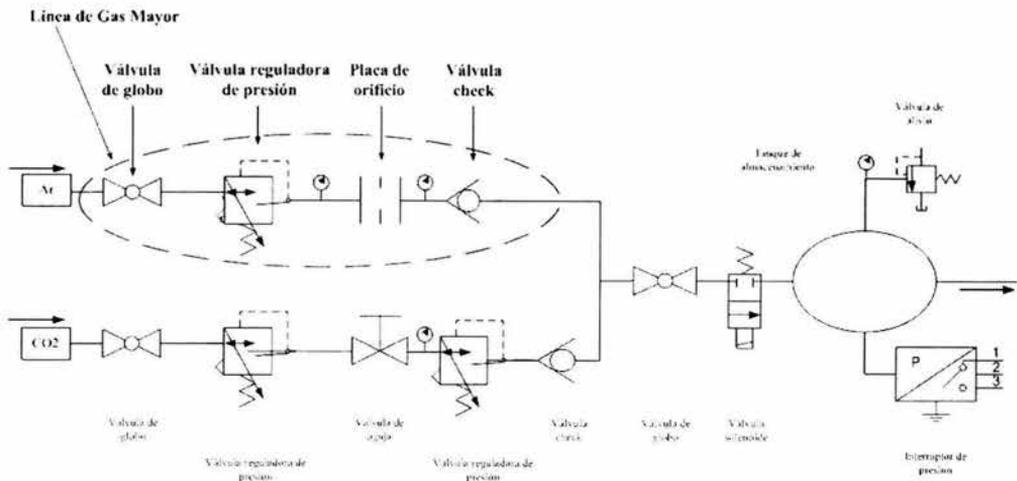


Figura 5.3 Línea de gas mayor

Selección de la válvula de globo

Se propone usar una válvula de globo recta marca “CMS”, como la que se muestra en la figura 5.4, cuyas características se indican en la tabla 5.3.

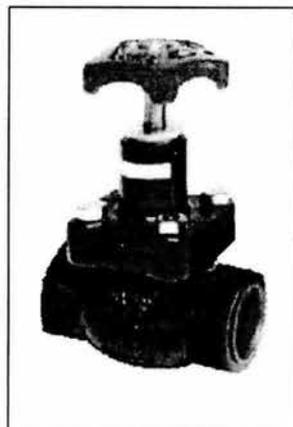


Figura 5.4 Válvula de globo CMS

Características	Valor
Material de construcción	Hierro nodular ASTM A536
Fluidos permitidos	Gas LP, gas natural, aceite, aire comprimido, bióxido de carbono y otros gases
Presión máxima soportada	400 [psi]
Diámetro de la conexión	3/4 [in]
Operación	Manual
Costo	\$ 23.31

Tabla 5.3 Características de la válvula de globo Worcester

Selección de la válvula reguladora de presión

Se propone usar una válvula reguladora de presión marca “Fisher” modelo 95HD, como la que se muestra en la figura 5.5, cuyas características se indican en la tabla 5.4.



Figura 5.5 Válvula reguladora de presión Fisher 95HD

Características	Valor
Material de construcción	Hierro forjado, acero o acero inoxidable
Fluidos permitidos	Vapor, aire, agua, gas, aceite y fluidos similares
Diámetro de la conexión	3/4 [in]
Presión máxima de entrada	600 [psi]
Presión de salida	De 2 a 400 [psi]
Operación	Manual
Costo	\$ 215.50

Tabla 5.4 Características de la válvula reguladora de presión Fisher 95HD

Cálculo de la placa de orificio

La función principal de la placa de orificio, como la que se muestra en la figura 5.6, es la de cambiar el flujo turbulento con el que el argón fluye desde su depósito a través de la línea de gas mayor, en un flujo laminar y con un gasto adecuado que permita obtener la mezcla deseada con el bióxido de carbono.

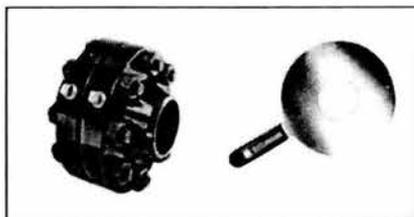


Figura 5.6 Placa de orificio y brida de montaje

Con tal fin se usa la ecuación 5.8 para calcular el diámetro del orificio de la placa “ d_1 ”.

$$W = 1,891(Y)(d_1)^2(C)\sqrt{\Delta P\rho}$$

Ecuación 5.8 Flujo másico de fluidos compresibles en orificios

En donde: “ W ” es el flujo másico de un fluido compresible a través de un orificio medido en [lb/hr],

“ Y ” es el factor de expansión de un fluido al atravesar un orificio y se obtiene experimentalmente dependiendo del diferencial de presión “ ΔP ” entre la presión del fluido antes del orificio y la presión después de atravesar dicho orificio,

“ d_1 ” es el diámetro del orificio medido en [in],

“ C ” es el coeficiente de flujo para orificios que se obtiene experimentalmente dependiendo del número de Reynolds del fluido y la razón “ β ” entre el diámetro “ d_1 ” del orificio y el diámetro interno de la tubería “ d_2 ”,

“ ΔP ” es el diferencial de presión del fluido que existe entre la presión antes del orificio y la presión después de éste,

“ ρ ” es la densidad del fluido medida en [lb/ft³], y

“1,891” es un factor para la conversión de unidades.

De la ecuación 5.8 se obtiene la ecuación 5.9 para calcular el diámetro del orificio “ d_1 ”.

$$d_1 = \sqrt{\frac{W}{1,891(Y)(C)\sqrt{\Delta P\rho}}}$$

Ecuación 5.9 Diámetro del orificio para una placa de orificio

Por lo tanto, se calcula el flujo másico “ W ” del argón en la línea de gas mayor usando la ecuación 5.2, en donde el flujo del argón “ ϕ ” es de 1,012.50 [ft³/hr], de acuerdo con el cálculo realizado en el apartado 5.4 de este capítulo, y la densidad “ ρ ” del argón que se obtiene mediante la ecuación 5.3.

Considerando la presión de operación “ P ” de 65 [psi], el peso molecular del argón “ PM ” de 39.95 [GM/gr_{mol}], según se indica en la tabla 5.1, la constante de los gases “ R ” de 10.73, y la temperatura “ T ” de 527.67 [°R], se tiene que, de acuerdo con la ecuación 5.3, la densidad “ ρ ” del argón es:

$$\rho = \frac{(65 \text{ psi})(39.95 \text{ GM} / \text{gr}_{\text{mol}})}{(10.73)(527.67^\circ \text{ R})} = 0.4586 \text{ lb} / \text{ft}^3$$

Densidad del argón

Substituyendo el flujo “ ϕ ” del argón de 1,012.50 [ft³/hr] y la densidad “ ρ ” encontrada de 0.4586 [lb/ft³] en la ecuación 5.2, se tiene que el flujo másico del argón es:

$$W = (1,012.50 \text{ ft}^3/\text{hr}) (0.4586 \text{ lb}/\text{ft}^3) = 464.3325 \text{ lb}/\text{hr}$$

Flujo másico del argón en la línea de gas mayor

Con el flujo másico del argón “ W ” de 464.3325 [lb/hr] calculado, la densidad “ ρ ” del gas de 0.4586 [lb/ft³] y considerando una tubería con un diámetro nominal “ d ” de 3/4 de pulgada (0.824 [in]), se tiene que de acuerdo con la ecuación 5.1 la velocidad del argón en la línea de gas mayor es:

$$v = \frac{3.06(464.3325 \text{ lb} / \text{hr})}{(0.4586 \text{ lb} / \text{ft}^3)(0.824 \text{ in})^2} = 4,563.1215 \text{ ft} / \text{min}$$

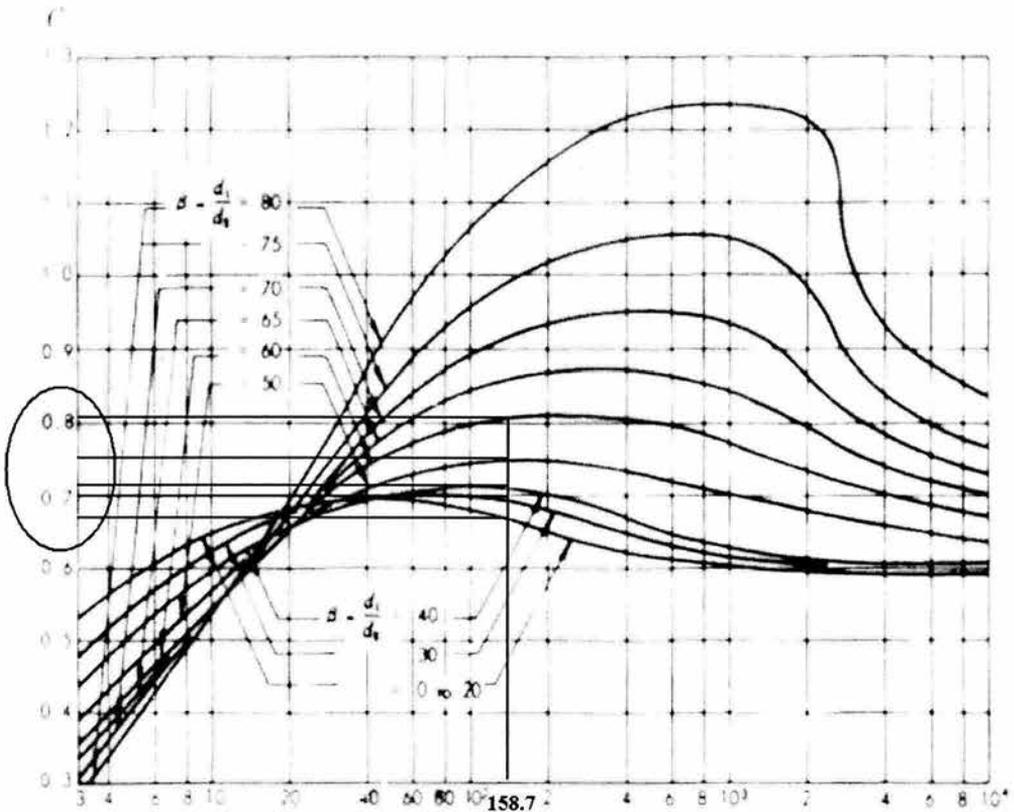
Velocidad del argón en la línea de gas mayor

Substituyendo en la ecuación 5.6 la velocidad del argón “ v ” encontrada de 4,563.1215 [ft/min], la densidad “ ρ ” de 0.4586 [lb/ft³], el diámetro de la tubería “ d ” de 0.824 [in] y la viscosidad absoluta “ μ ” del argón de 0.0224 [centipoises], de acuerdo con la tabla 5.2, se tiene que el número de Reynolds del argón es:

$$R_e = 2.062 \frac{(4,563.1215 \text{ ft} / \text{min}) (0.4586 \text{ lb} / \text{ft}^3) (0.824 \text{ in})}{0.0224 \text{ centipoises}} = 158,731.7986$$

Número de Reynolds del argón

Con el número de Reynolds encontrado, se utiliza el nomograma 5.2 para obtener el coeficiente de flujo para orificios "C".



R. - Número de Reynolds basado en d_2

Nomograma 5.2 Coeficiente de flujo y número de Reynolds en función del diámetro de un orificio y el diámetro interno de una tubería

De acuerdo con el nomograma 5.2 y para el número de Reynolds 158,731.7986, se tienen los coeficientes de flujo “C” en relación con la razón de diámetros “β” que se muestran en la tabla 5.5

Razón de diámetros “β”	Coefficiente de flujo “C”
0.60	0.81
0.50	0.75
0.40	0.72
0.30	0.70
0.20	0.67

Tabla 5.5 Coeficientes de flujo para el número de Reynolds 158,700

Se propone considerar una razón de diámetros “β” de 0.40, por lo que el coeficiente de flujo “C” es de 0.72.

Considerando que la presión del argón antes de la placa de orificio es de 100.75 [psi] y que se requiere una presión de operación de 65 [psi], el diferencial de presión “ΔP” es:

$$\Delta P = 100.75 \text{ psi} - 65 \text{ psi} = 35.75 \text{ psi}$$

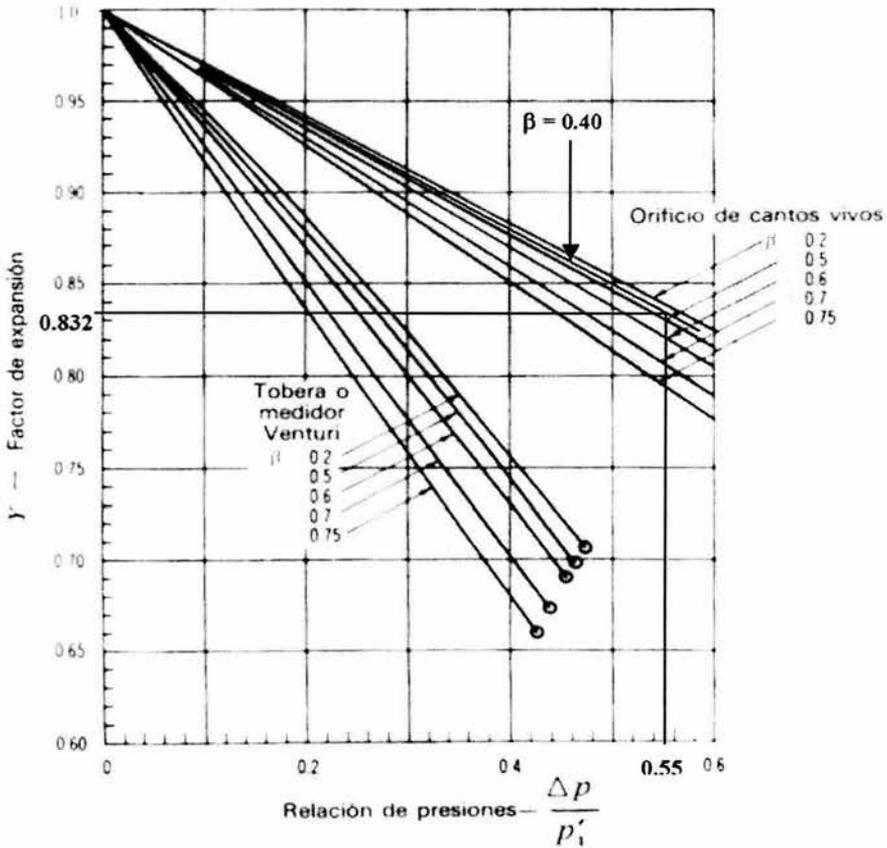
Diferencial de presión

Con el diferencial de presión “ΔP” encontrado de 35.75 [psi] y la presión de operación de 65 [psi], se calcula la relación entre ambas presiones, que es:

$$\text{Relación de presiones} = \frac{35.75 \text{ psi}}{65 \text{ psi}} = 0.55$$

Relación de presiones para el nomograma 5.3

Con esta relación de presiones de 0.55 y la razón de diámetros " β " propuesta de 0.40, se usa el nomograma 5.3 para obtener el valor del factor de expansión para fluidos compresibles en orificios " Y ".



Nomograma 5.3 Factor de expansión en función de la relación de presión y la relación de diámetros " β "

De donde se obtiene que el factor de expansión " Y " es de 0.832.

Substituyendo el flujo másico “ W ” de 464.3325 [lb/hr], el factor de expansión “ Y ” de 0.832, el coeficiente de flujo “ C ” de 0.72, el diferencial de presión “ ΔP ” de 35.75 y la densidad “ ρ ” de 0.4586 [lb/ft³] en la ecuación 5.9, se tiene que el diámetro del orificio “ d_1 ” es de:

$$d_1 = \sqrt{\frac{464.3325 \text{ lb/hr}}{1,891(0.832)(0.72)\sqrt{(35.75)(0.4586 \text{ lb/ft}^3)}}} = 0.3182 \text{ in}$$

Diámetro del orificio

Para verificar este valor puede calcularse el valor de la razón de diámetros “ β ” usando el diámetro del orificio “ d_1 ” calculado de 0.3182 [in] y el diámetro de la tubería “ d_2 ” 0.824 [in], que da como resultado:

$$\beta = \frac{d_1}{d_2} = \frac{0.3182 \text{ in}}{0.824 \text{ in}} = 0.3862 \approx 0.40$$

Razón del diámetro del orificio y del diámetro de la tubería

De lo que se concluye que la razón de diámetros propuesta de “ $\beta = 0.40$ ” es la más apropiada y que el diámetro del orificio debe ser de 0.3182 [in], que puede aproximarse a 5/16 de pulgada.

Selección de la válvula check

Se propone el uso de una válvula check marca “Circle Seal Controls” modelo 2200, como la que se muestra en la figura 5.7, cuyas características se indican en la tabla 5.6.

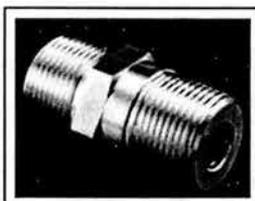


Figura 5.7 Válvula check 2200 de Circle Seal Controls

Características	Valor
Material de construcción	Bronce o acero inoxidable
Fluidos permitidos	Vapor, aire, agua, gas y fluidos similares
Diámetro de la conexión	3/4 [in]
Presión de operación	De 0.5 a 800 [psi]
Operación	Automática
Otras características	Presión de ruptura: 0 a 3 [psi]. Sello "o-ring" de alta precisión fabricado en teflón. Alta capacidad de respuesta.
Costo	\$ 164.50

Tabla 5.6 Características de la válvula check 2200 de Circle Seal Controls

5.5.2 Propuesta de la línea de gas menor

La línea de gas menor mostrada en la figura 5.8, está compuesta por un sistema de tubería de 3/4 de pulgada, una válvula reguladora de presión, una válvula de aguja como elemento restrictor para controlar el flujo del gas, y una válvula check para impedir el regreso del gas.

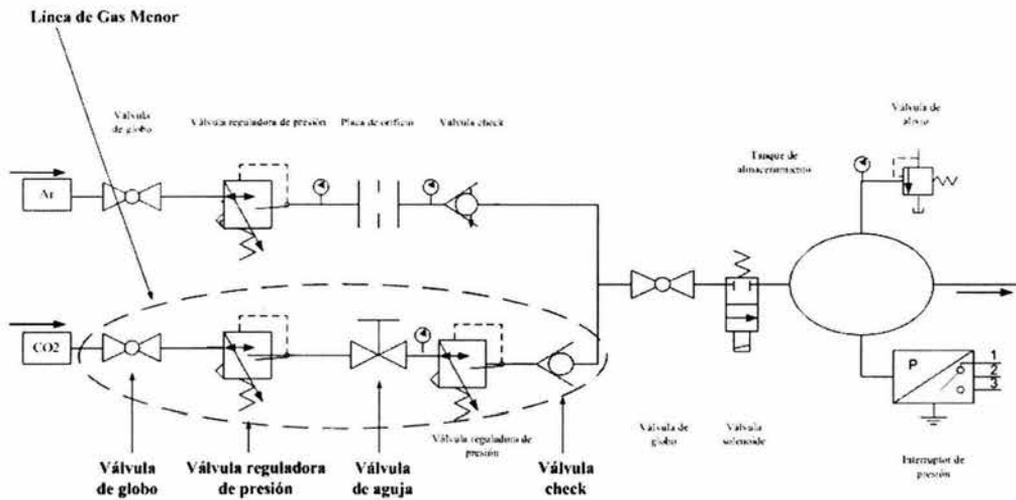


Figura 5.8 Línea de gas menor

Selección de la válvula de globo

Se propone utilizar el mismo tipo y modelo de válvula de globo seleccionada para la línea de gas mayor.

Selección de la válvula reguladora de presión

Se propone utilizar el mismo tipo y modelo de válvula reguladora de presión seleccionada para la línea de gas mayor.

Selección de la válvula de aguja

Se propone utilizar una válvula de aguja marca Swagelok modelo PFA-4RPS4, como la que se ilustra en la figura 5.9 y cuyas características se indican en la tabla 5.7.



Figura 5.9 Válvula de aguja Swagelok

Características	Valor
Material de construcción	PFA de alta pureza
Fluidos permitidos	Vapor, aire, agua, gas y fluidos similares
Diámetro de la conexión	3/4 [in]
Presión de operación	Hasta 180 [psi]
Operación	Automática
Otras características	Temperatura máxima: 300 [°F] (148 [°C])
Costo	\$ 45.50

Tabla 5.7 Características de la válvula de aguja Swagelok PFA-4RPS4

Selección de la válvula check

Se propone utilizar el mismo tipo y modelo de válvula check seleccionada para la línea de gas mayor.

5.5.3 Propuesta de la línea de gas mezclado

La línea de gas mezclado se encuentra compuesta por un sistema de tubería de 3/4 de pulgada, una válvula solenoide y un interruptor de presión, tal y como se muestra en la figura 5.10

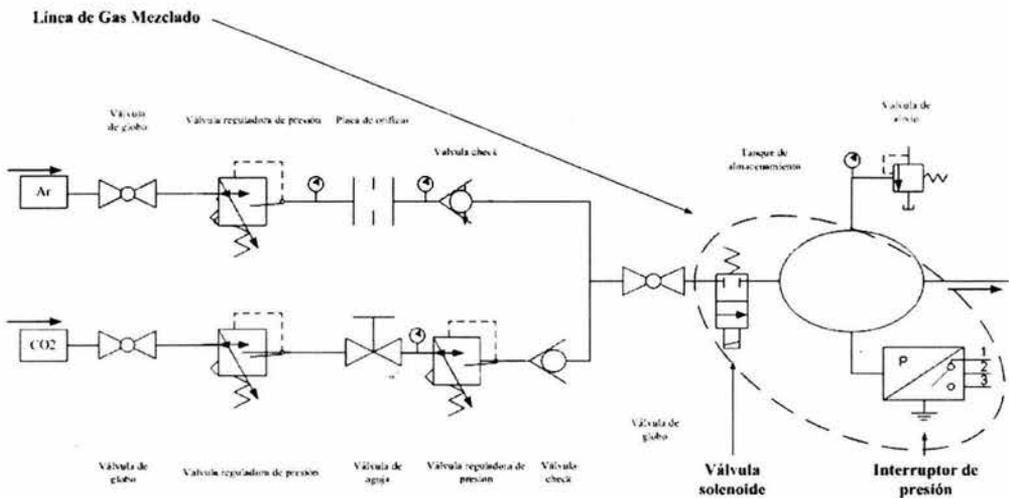


Figura 5.10 Línea de gas mezclado

El gas obtenido de la mezcla del argón y bióxido de carbono, reside en el sistema de tuberías después de las válvulas check de las líneas de gas mayor y de gas menor, y debe suministrarse a una presión mayor a los 50 [psi] al tanque de almacenamiento.

En la línea de suministro de gas mezclado, se encuentra una válvula solenoide que permite el paso de la mezcla hacia el tanque cuando éste tiene la presión preestablecida para este propósito; dicha válvula es activada por un interruptor de presión que se encuentra directamente conectado al tanque de almacenamiento midiendo su presión interna.

Selección de la válvula solenoide

La válvula solenoide seleccionada es una válvula “Magnatrol” modelo 129L53, mostrada en la figura 5.11, cuyas características se indican en la tabla 5.8.



Figura 5.11 Válvula solenoide Magnatrol 129L53

Características	Valor
Material de construcción	Bronce
Fluidos permitidos	Cualquier fluido no reactivo y sin sedimentos
Diámetro de la conexión	3/4 [in]
Presión de operación	Hasta 300 [psi]
Operación	Normalmente cerrada. Permite el paso al energizar. Bobina de cobre para corriente alterna.
Alimentación	127 [VAC] y 1.2 [A] a 60 [Hz]
Otras características	Temperatura de operación: -320 [°F] a 400 [°F]. Sello "o-ring" de alta precisión fabricado en teflón. Válvula piloto y tubo de llave en acero inoxidable.
Costo	\$ 452.50

Tabla 5.8 Características de la válvula solenoide Magnatrol

Interrupor de presión

Se propone utilizar un interruptor de presión marca "ASCO" serie "H", tal y como se muestra en la figura 5.12, cuyas características se indican en la tabla 5.9.



Figura 5.12 Interruptor de presión ASCO

Características	Valor
Diámetro de la conexión	3/4 [in]
Presión de operación	Hasta 250 [psi]
Temperatura de operación	De -20 [°C] a 60 [°C] en el medio ambiente. De -20 [°C] a 82 [°C] en el fluido.
Operación	Automática. Se fija un rango de valores deseados
Alimentación	125 [V] AC y DC, con un rango de corriente de ¼ [A] a 15 [A]
Otras características	Puede montarse en cualquier posición. Alta precisión incluso con variación de temperatura.
Costo	\$ 835.71

Tabla 5.9 Características del interruptor de presión ASCO serie H

5.5.4 Propuesta del tanque almacenador

Como resultado del cálculo del diferencial de presión a lo largo del ramal de suministro y debido a que el requerimiento de las máquinas de soldar permite un rango de entre 40 y 45 [psi] de presión, se considera dicho rango aumentándosele el diferencial de presión calculado anteriormente, es decir:

$$P_m = P + \Delta P_r = 45[\text{psi}] + 21.5834[\text{psi}] = 66.5834[\text{psi}]$$

Con base en esto, se propone que el tanque almacenador tenga una capacidad de 70 [psi] de presión. El costo aproximado de un tanque estacionario con esta capacidad es de \$2,400.00.

5.5.5 Propuesta del sistema de medición

El sistema de medición se conforma de los manómetros colocados en puntos específicos en las líneas de gases (ver la figura 5.13), para el monitoreo efectivo de las presiones necesarias para el proceso de mezclado y para el control de presiones críticas, como son: la presión del gas mayor antes de la placa de orificio, la presión del gas mayor después de la placa de orificio, la presión del gas menor y, por último, la presión del tanque de almacenamiento.

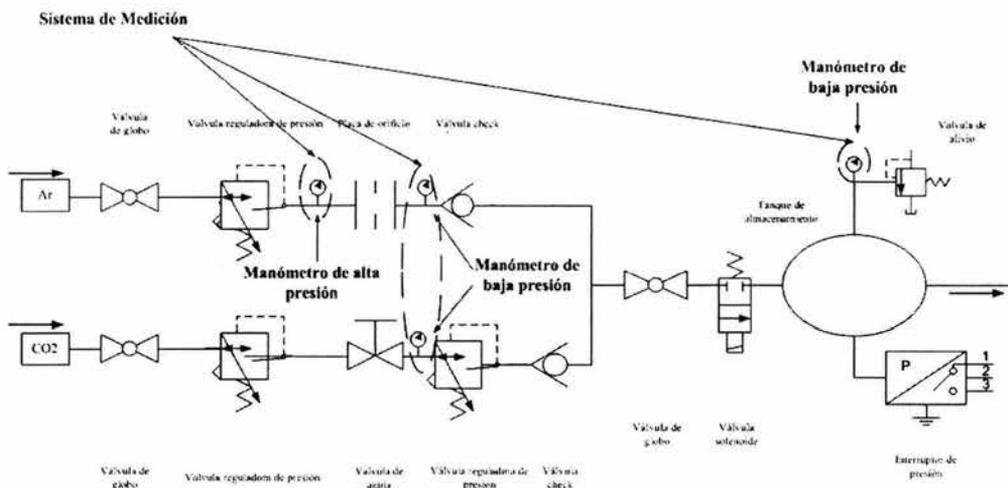


Figura 5.13 Sistema de medición

Selección de la tubería para los manómetros

Se propone utilizar una tubería flexible de cobre de 1/4 de pulgada para la toma de presiones.

Selección de los manómetros

Se propone usar un manómetro de alta presión, colocado en la línea de gas mayor antes de la placa de orificio, y tres de baja presión, colocados el primero en la línea de gas mayor después de la placa de orificio, el segundo en la línea de gas menor después de la válvula de aguja y el tercero en el tanque de almacenamiento, de acuerdo con la distribución que se muestra en la figura 5.13; dichos manómetros son marca “Omega” de la serie PGU, como los que se muestran en la figura 5.14, y con las características que se indican en la tabla 5.10.



Figura 5.14 Manómetros Omega

Características	Valor
Material	Carcaza de acero con conexión de bronce y ventana de vidrio
Diámetro de la conexión	1/4 [in]
Presión de operación	Manómetros de alta presión: de 0 a 300 [psi]. Manómetros de baja presión: de 0 a 100 [psi].
Precisión	± 3%
Operación	Automática
Costo	\$ 90.60

Tabla 5.10 Características de los manómetros Omega serie PGU

5.5.6 Propuesta del sistema de calibración

El sistema de calibración consiste en las terminales necesarias para poder conectar un analizador de mezclas comercial a la línea de gas mezclado y a la línea de gas menor, de forma tal que pueda evaluarse el porcentaje de bióxido de carbono que existe en la mezcla y poder así regular la apertura de la válvula de aguja de la línea de gas menor, para obtener la proporción de gases requerida en la mezcla.

La elección de usar la línea de gas menor en el sistema de calibración, se debe a que la válvula de aguja permite regular el flujo del gas de esta línea, cosa que no es posible en la línea de gas menor porque la existencia de la placa de orificio mantiene un flujo de argón constante.

Por lo tanto, se propone instalar una válvula reguladora de presión después de la válvula de aguja en la línea de gas menor, y una válvula de globo antes de la válvula solenoide que precede al tanque de almacenamiento, tal y como se muestra en la figura 5.15. Ambas válvulas serán los accesos para las terminales del analizador de mezclas.

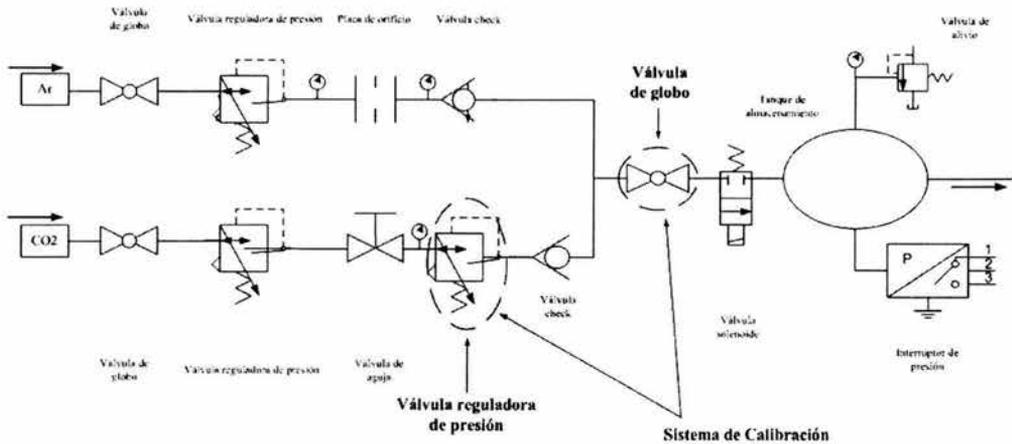


Figura 5.15 Sistema de calibración

Selección de la tubería para el sistema de calibración

Debido a la precisión que se maneja en los equipos de medición de porcentaje de mezcla, se propone utilizar tubería de 1/4 de pulgada para las válvulas que darán acceso al analizador de mezclas.

Selección de la válvula reguladora de presión

A diferencia de las válvulas reguladoras de presión Fisher propuestas para las líneas de gas menor y mayor, se propone usar una válvula reguladora de presión marca "Brooks" modelo 8601, como la que se muestra en la figura 5.16 y con las características indicadas en la tabla 5.11, debido a que ésta tiene una conexión adicional para accesorios de medición de presión.



Figura 5.16 Válvula reguladora de presión Brooks

Características	Valor
Material de construcción	Aluminio
Fluidos permitidos	Aire, Ar, He, H, Kr, Ne, N, CO ₂ , O y Xe
Diámetro de la conexión	1/4 [in]
Presión máxima de entrada	250 [psi]
Presión de salida	De 10 a 250 [psi]
Operación	Manual
Costo	\$ 630.40

Tabla 5.11 Características de la válvula reguladora de presión Brooks

Selección de la válvula de globo

Se propone usar una válvula de globo de marca “CMS”, similar a las propuestas para las líneas de gas mayor y gas menor, sólo que un diámetro de entrada de 1/4 [in].

5.5.7 Propuesta del sistema de seguridad

La línea del sistema de seguridad proviene directamente del tanque de almacenamiento y es independiente de las líneas de gas mayor, de gas menor, de gas mezclado y de suministro. Sus funciones principales son: la de aliviar al tanque de almacenamiento de una presión excesiva, y de controlar la presión dentro del mismo tanque.

Este sistema está formado por dos líneas de tuberías, tal y como se muestra en la figura 5.17: la primera inicia en el tanque de almacenamiento y termina en una válvula de seguridad que acciona cuando la presión del tanque llega al límite, permitiendo el escape del gas a alta presión y aliviando así la presión interna del tanque; y la segunda línea inicia igualmente en el tanque con una tubería en espiral, diseñada así para eliminar el efecto de golpe de ariete, y culmina en un interruptor de presión, llamado presóstato, que, de acuerdo con la presión dentro del tanque, permite o impide la entrada de más gas a este último.

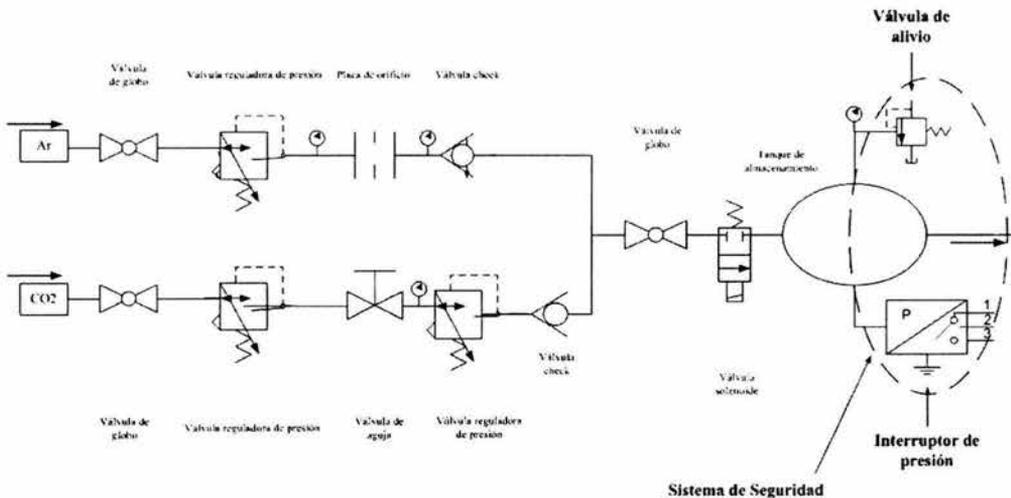


Figura 5.17 Sistema de seguridad

Selección de la tubería para el interruptor de presión

La tubería será de 1/4 [in] de diámetro y se conectará a la tubería proveniente del tanque de almacenamiento, de 3/4 [in], mediante una unión en “T” de 3/4 [in] con una reducción a 1/4 [in].

Selección de la tubería para la válvula de alivio

La tubería será de 3/4 [in] de diámetro.

Selección de la válvula de seguridad o de alivio

Se propone una válvula de seguridad marca “Flow Safe” modelo F84 de resorte directo y alivio simple, como la que se muestra en la figura 5.18 y cuyas especificaciones se indican en la tabla 5.12.

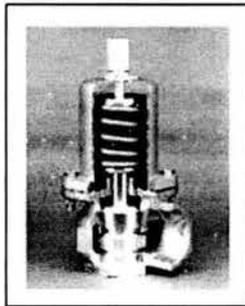


Figura 5.18 Válvula de alivio Flow Safe F84

Características	Valor
Material de construcción	Latón, acero al carbón o acero inoxidable
Fluidos permitidos	Gases en general
Diámetro de la conexión	3/4 [in]
Presión máxima	15 a 9,612 [psi]
Operación	Automática
Costo	\$ 215.00

Tabla 5.12 Características de la válvula de alivio Flow Safe F84

Conclusiones

La selección de los accesorios para armar esta mezcladora de gases es libre, por lo que pueden utilizarse otras marcas y modelos, según convenga de acuerdo con la disponibilidad de los componentes y del presupuesto que se tenga, siempre y cuando se mantengan las especificaciones dadas.

Capítulo VI. Programa de ensamble de la mezcladora y manual de instalación

El objetivo de este capítulo es presentar una propuesta tentativa del programa de ensamble de componentes, así como un manual para la instalación y operación del sistema de la mezcladora.

Programa de ensamble

De acuerdo con los cálculos realizados en los capítulos anteriores, se han seleccionado los componentes necesarios para el adecuado suministro de una mezcla de gases de argón al 75% y bióxido de carbono al 25%. Dichos componentes se muestran en la figura 6.1 identificados por una letra, la que hace referencia a los elementos que se enlistan en la tabla 6.1.

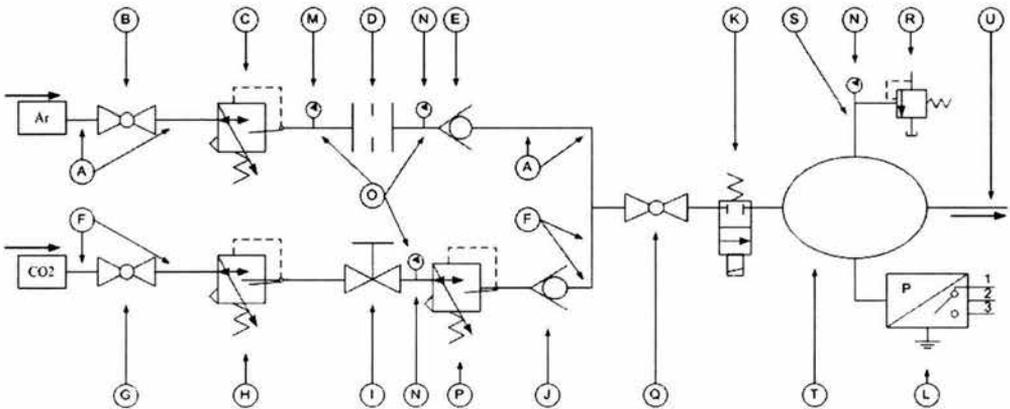


Figura 6.1 Esquema de componentes de la mezcladora de gases

Elemento	Descripción	Tamaño y conexión
Línea de gas mayor.		
A	Tubería y uniones en codo y en "T"	3/4 [in] NPT
B	Válvula de globo	3/4 [in] NPT
C	Válvula reguladora de presión	3/4 [in] NPT
D	Placa de orificio	Bridas 3/4 [in] NPT. Orificio calibrado de 5/16 [in].
E	Válvula check	3/4 [in] NPT de cobre soldable
Línea de gas menor.		
F	Tubería, codo y unión en "T"	3/4 [in] NPT
G	Válvula de globo	3/4 [in] NPT
H	Válvula reguladora de presión	3/4 [in] NPT
I	Válvula de aguja	3/4 [in] NPT
J	Válvula check	3/4 [in] NPT
Línea de gas mezclado.		
K	Válvula solenoide	3/4 [in] NPT
L	Interruptor de presión	3/4 [in] NPT
Sistema de medición.		
M	Manómetro de alta presión	1/4 [in] NPT
N	Manómetros de baja presión	1/4 [in] NPT
O	Tubería para manómetros	1/4 [in] NPT
	Unión "T" 3/4 a 1/4 [in]	3/4 a 1/4 [in] NPT
Sistema de calibración		
P	Regulador de presión	1/4 [in] NPT
Q	Válvula de globo	1/4 [in] NPT
Sistema de seguridad		
R	Válvula de alivio o de seguridad	3/4 [in] NPT
S	Tubería para válvula de alivio	3/4 [in] NPT
L	Interruptor de presión	3/4 [in] NPT

Tabla 6.1 Lista de componentes de la mezcladora de gases

Continuación de la tabla 6.1.

Elemento	Descripción	Tamaño y conexión
Sistema de almacenamiento		
T	Tanque de almacenamiento de la mezcla	350 [lt] y 70 [psi]
Sistema de suministro		
U	Tubería de suministro de la mezcla	1 [in] NPT

Para determinar las acciones y los tiempos que se requieren para llevar a cabo la instalación de componentes, se utilizará como guía el diagrama de Gantt mostrado en la figura 6.1.

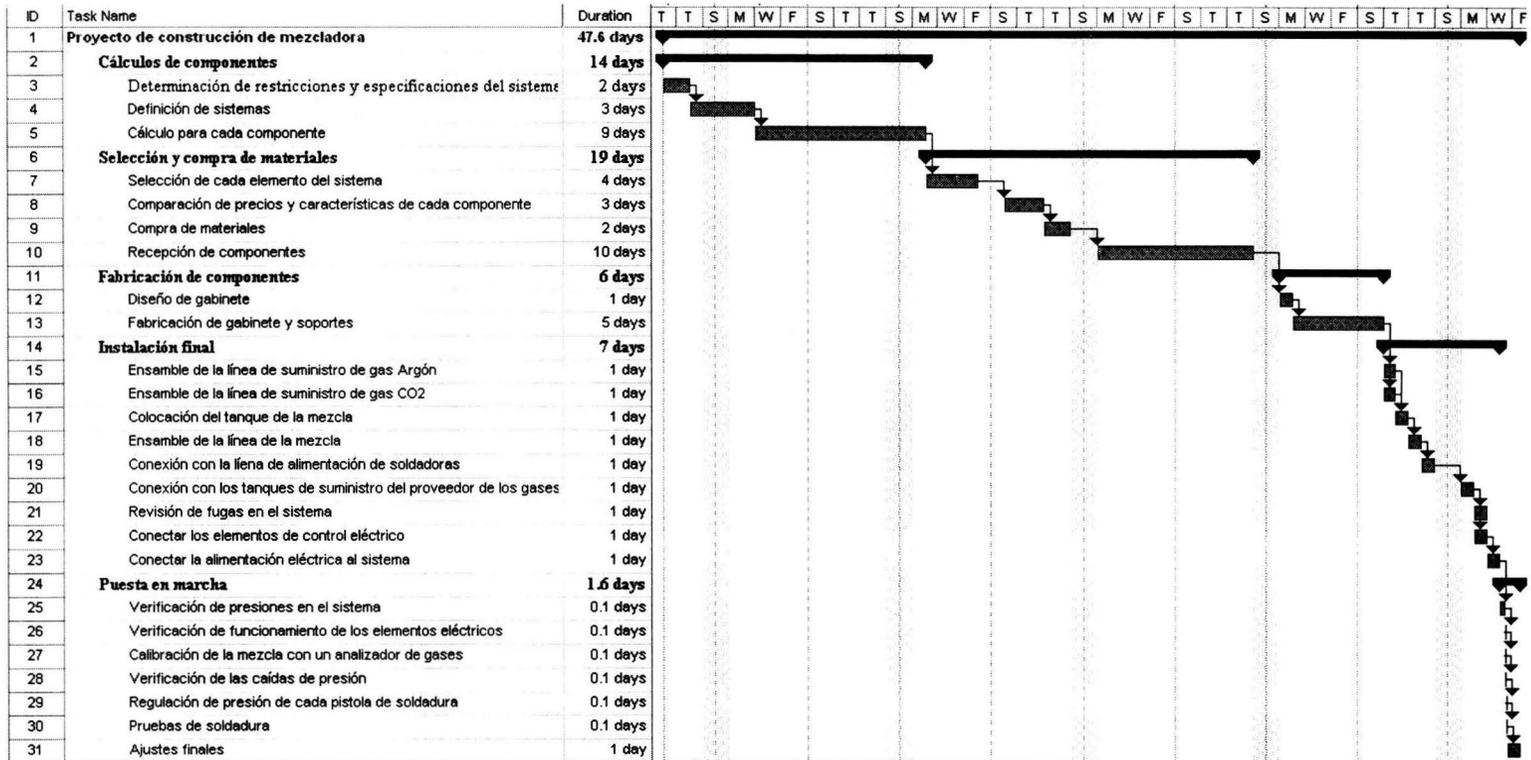


Figura 6.2 Cronograma de ensamble e instalación de la mezcladora

El diagrama de Gantt presenta la programación de actividades indicando la duración de cada una de ellas, sus fechas de inicio y término e igualmente el tiempo total requerido para la ejecución del proyecto.

Las actividades que se muestran numeradas del 1 al 10 (columna ID), se obtuvieron de los cálculos y de la selección de componentes vistos a lo largo del desarrollo de todos los capítulos de este trabajo y cuyos resultados se muestran en la tabla 6.1.

En la actividad número 11 “Fabricación de componentes”, se establece un tiempo de 6 días para diseñar y fabricar un gabinete que contenga y proteja los componentes eléctricos, de gas, y los controles, como son: botones, interruptores, la entrada del analizador, etcétera, y que estén a la vista para que la operación de la mezcladora sea fácil.

Para la actividad número 14 “Instalación final”, el tiempo previsto es de 14 días e incluye: el ensamble de la línea de gas mayor y sus componentes, la línea de gas menor y sus componentes, la instalación del tanque de almacenamiento de la mezcla, la línea de la mezcla con sus respectivos componentes, las instalaciones para las conexiones eléctricas y de control, una revisión final de fugas, y las pruebas para verificar el funcionamiento correcto de todo el sistema.

Para la actividad número 24 de “Puesta en marcha”, se prevén casi dos días para realizar pruebas finales, calibrar la mezcla exacta requerida, verificar el funcionamiento óptimo del sistema, y verificar las caídas de presión del ramal principal y poder, con esto, regular cada máquina de soldar. También, se contempla realizar pruebas de soldadura y realizar los ajustes que se requieran y hacer la entrega al usuario final de la mezcladora.

Teniendo ya el diseño y selección de todos los componentes se estima que el ensamble de una mezcladora, lista para conectar al proveedor de gases y a la línea de distribución para soldadoras, y teniendo a un maestro plomero y un maestro eléctrico, será aproximadamente de 15 días.

Debe tenerse en cuenta que si este diseño ha de usarse para un arreglo de máquinas soldadoras diferente al expuesto en este trabajo o con especificaciones diferentes a las consideradas en su diseño, se deberán realizar todas las actividades contempladas en el diagrama de Gantt de la figura 6.2, siguiendo los cálculos desarrollados en los capítulos IV y V.

Recomendaciones para la instalación

A continuación se presenta una serie de recomendaciones para llevar a cabo la instalación de la mezcladora.

Localización

La mezcladora deberá localizarse en un área bien ventilada y protegida. En climas extremos se recomienda que esta área no quede a la intemperie lo que facilitará las labores de mantenimiento. Para una operación más confiable de la mezcladora y una mayor precisión del analizador de gases, se sugiere no exceder las especificaciones de cada elemento.

PRECAUCIÓN: las mezclas de gases para soldadura pueden causar sofocación por dilución de la concentración de oxígeno en el aire por debajo de los niveles necesarios para la vida, por lo que debe asegurarse que siempre se tenga ventilación en el área designada a la mezcladora de gases.

La mezcladora deberá ser atornillada al suelo en un área no sujeta a vibraciones excesivas, las cuales podrían interferir con la operación adecuada del analizador de gases.

Suministro de energía eléctrica

El suministro de energía eléctrica para la mezcladora de gases no debe ser colocado en un circuito con variaciones de voltaje altas, lo cual causaría fallas en el sistema. Los circuitos que suministran energía eléctrica a equipos de inducción, como son: motores, soldadoras, etc. deberán

ser evitados. La especificación para el suministro de energía eléctrica es con una tensión de 115 VAC, una frecuencia de 60 Hz y 2A de corriente alterna.

Tubería externa.

Los sistemas de tuberías no deben restringir el flujo del gas durante la operación del sistema. Para una mezcla precisa del gas, las presiones de suministro y los diámetros de las tuberías no deben ser menores al especificado en la tabla 6.1.

Las uniones de la tubería y las válvulas solenoide deberán ser instaladas en lugares de acceso rápido para cualquier emergencia y facilidad de mantenimiento.

Instrucciones de operación

Para la adecuada operación de la mezcladora, las presiones del gas mayor y del gas menor en condiciones de flujo, como se indican en los manómetros frontales de la mezcladora, se deben inicializar a los valores requeridos y ajustar una vez hecha la instalación.

Procedimiento inicial de arranque.

1. Abrir las válvulas de suministro de gas mayor y gas menor completamente.
2. Asegurarse que la mezcladora esté aislada del distribuidor de gas mezclado durante el arranque del sistema para evitar cargar el distribuidor con una mala mezcla.
3. Cerrar completamente la válvula de control de flujo de la mezcla. Abrir dicha válvula el número de vueltas requerido para lograr la mezcla deseada.
4. Encender el sistema con el botón "ON". El tanque de almacenamiento se llenará con la mezcla de gases.

5. Insertar el analizador de gases para obtener un indicador de la mezcla en ese momento, colocar el flujómetro de referencia en $0.5 [ft^3/hr]$ y el flujómetro de la muestra en $1.0 [ft^3/hr]$. Encender el analizador y esperar 45 [min]. para que se caliente.
6. Inicializar en cero el analizador colocando la válvula de tres posiciones en la posición “CERO”. Esperar 2 [min]. y ajustar la perilla “CERO” del analizador hasta que marque 0.0 [%]. Regresar la perilla hasta la posición “MUESTRA”. El analizador indicará ahora el porcentaje de concentración del gas menor en el tanque de almacenamiento.

NOTA: Inicializar a “CERO” cada determinado tiempo para asegurar la precisión de la mezcla.

7. Establecer la presión deseada de la línea de suministro ajustando el regulador de presión.
8. El ajuste fino de la mezcla se obtiene girando la válvula de control de mezcla en la dirección requerida. En el sentido de las manecillas del reloj disminuye el % del gas menor. Hacer los ajustes de mezcla en pequeños pasos para evitar grandes desviaciones en la mezcla.

Conclusiones

Los objetivos principales de diseñar una mezcladora de gases eficiente y de bajo costo, han sido satisfactoriamente alcanzados, tal y como se expone a continuación.

El diseño de la mezcladora de gases es compacto y con un mínimo de componentes, lo que la hace de fácil construcción, instalación y mantenimiento; así mismo, se ha contemplado que su instalación, dentro de un sistema ya operativo, sea sencilla, ya que los accesos a las líneas de suministro de los gases y a la línea de suministro a las máquinas soldadoras, sólo requiere de un acoplador adecuado.

De igual manera, se ha contemplado el uso de una placa de orificio que permite que el flujo del argón en la línea de gas mayor esté siempre regulado, por lo que sólo es necesario regular el flujo del bióxido de carbono en la línea de gas menor.

El diseño de la mezcladora de gases comprende un mínimo de componentes y accesorios, y todos ellos son de fácil obtención en el mercado nacional.

El costo de cada componente y la cantidad que de ellos se requiere, arroja un total estimado de \$6,000.00 pesos mexicanos, considerando tuberías y conectores, a los que habrá que sumar los costos por mano de obra para su fabricación; sin embargo, su costo total estimado está muy por debajo de las soluciones comerciales disponibles, como son: la obtención de la mezcla directamente del proveedor o la compra de una mezcladora comercial.

Así mismo, la sencillez de su diseño permite que los costos de mantenimiento sean mínimos, ya que sólo se requiere de la intervención del equipo de mantenimiento propio de una empresa sin necesitar servicio técnico externo.

Este diseño ha sido presentado a varios empresarios, quienes han mostrado su interés en él y han dado retroalimentaciones favorables, lo que, aunado a las características y objetivos que le han dado forma a este diseño y que cabalmente se han cumplido, lo convierte en una posibilidad técnica y económica de fácil divulgación y puesta en marcha; por lo tanto, se exorta a aquellos interesados en demostrar el potencial de esta herramienta.

Bibliografía

CRANE, Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías, México, Editorial McGraw Hill, 1993 (1ª Edición).

MATAIX Claudio, Fluidos y máquinas hidráulicas, México, Editorial Harla, 1993 (2ª Edición).

PERRY John H., Chemical Engineers Handbook, Estados Unidos, Editorial McGraw Hill, 1984.

WHITE Frank M., Mecánica de fluidos, México, Editorial McGraw Hill, 1984.

<http://www.cmsinternacional.com.mx/valvulaslp.htm> [27 de junio de 2004].

http://www.fisherregulators.com/products/PED/actServPEDDoc.cfm/D100256X_eng.pdf?docID=736 [27 de junio de 2004].

http://www.circle-seal.com/prod/check/check_valves.html [27 de junio de 2004].

<http://www.swagelok.com/> [27 de junio de 2004].

<http://www.magnatrol.com/valves/bronze/l.html> [27 de junio de 2004].

http://www.omega.com/pptst/PGU_Series.html [27 de junio de 2004].

<http://www.flowsafe.com/Spanish/safetyrelief.php> [27 de junio de 2004].

Anexo A-1. Coeficientes de resistencia para tuberías y accesorios

A continuación se presentan los coeficientes de resistencia “K”, para válvulas y accesorios utilizados en el capítulo V para el cálculo de la pérdida de presión en los elementos del ramal de suministro.

Tamaño nominal de la tubería		Instituto Hidráulico		Crane	Instituto Hidráulico		Crane
		Atornillada	C/Brida	Ambas	Atornillada	C/Brida	Ambas
[mm]	[in]	VÁLVULA DE GLOBO			VÁLVULA DE COMPUERTA		
10	0.375	19.5		9.41	0.38		0.22
15	0.5	14.9		8.81	0.33		0.21
20	0.75	9.41		8.15	0.28		0.19
25	1	8.98	13.09	7.65	0.24	0.7	0.18
32	1.25	8	11.56	7.13	0.22	0.55	0.17
40	1.5	7.63	10.44	6.86	0.2	0.45	0.16
50	2	7.08	8.9	6.46	0.17	0.33	0.15
65	2.5	6.68	7.86	6.19	0.16	0.26	0.15
80	3	6.37	7.1	5.89	0.14	0.22	0.14
100	4	5.91	6.45	5.54	0.12	0.16	0.13
150	6		6	5.07		0.1	0.12
200	8		5.7	4.78		0.08	0.11
250	10		5.7	4.57		0.06	0.11
300	12		5.7	4.41		0.05	0.1
350	14		5.7	4.32		0.04	0.1
400	16		5.7	4.21		0.04	0.1
450	18		5.7	4.11		0.03	0.1
500	20		5.7	4.02		0.03	0.1

Tamaño nominal de la tubería		Instituto Hidráulico		Crane	Instituto Hidráulico		Crane
		Atornillada	C/Brida	Ambas	Atornillada	C/Brida	Ambas
[mm]	[in]	VÁLVULA DE ÁNGULO			VÁLVULA CHECK		
10	0.375	13.5		4.15	8.03		2.77
15	0.5	9.8		3.89	5.52		2.59
20	0.75	6.24		3.6	3.74		2.4
25	1	4.53		3.37	3	2	2.25
32	1.25	3.53	3.6	3.15	2.56	2	2.1
40	1.5	2.88	3	3.03	2.51	2	2.02
50	2	2.09	2.25	2.85	2.33	2	1.9
65	2.5	1.63	2.2	2.73	2.15	2	1.82
80	3	1.33	2.2	2.6	2.05	2	1.73
100	4	0.97	2.2	2.44	2	2	1.63
150	6		2.1	2.24		2	1.49
200	8		2.1	2.11		2	1.41
250	10		2.1	2.01		2	1.34
300	12		2.1	1.94		2	1.3
350	14		2.1	1.91		2	1.27
400	16		2.1	1.86		2	1.24
450	18		2.1	1.81		2	1.21
500	20		2.1	1.77		2	1.18

Tamaño nominal de la tubería		Instituto Hidráulico		Crane	Instituto Hidráulico		Crane
		Atornillada	C/Brida	Ambas	Atornillada	C/Brida	Ambas
[mm]	[in]	CONEXIÓN EN T			CODO ESTANDAR DE 90°		
10	0.375	0.9		0.55	2.58		0.83
15	0.5	0.9		0.52	2.19		0.78
20	0.75	0.9		0.48	1.75		0.72
25	1	0.9	0.26	0.45	1.49	0.43	0.67
32	1.25	0.9	0.23	0.42	1.32	0.41	0.63
40	1.5	0.9	0.21	0.4	1.19	0.39	0.61
50	2	0.9	0.19	0.38	1.01	0.36	0.57
65	2.5	0.9	0.17	0.36	0.89	0.34	0.55
80	3	0.9	0.15	0.35	0.81	0.33	0.52
100	4	0.9	0.13	0.33	0.69	0.3	0.49
150	6		0.11	0.3		0.27	0.45
200	8		0.1	0.28		0.26	0.42
250	10		0.09	0.27		0.24	0.4
300	12		0.08	0.26		0.23	0.39
350	14		0.07	0.25		0.22	0.38
400	16		0.07	0.25		0.22	0.37
450	18		0.07	0.24		0.21	0.36
500	20		0.06	0.24		0.2	0.35

Tamaño nominal de la tubería		Instituto Hidráulico		Crane	Instituto Hidráulico		Crane
		Atornillada	C/Brida	Ambas	Atornillada	C/Brida	Ambas
[mm]	[in]	CODO DE 90° RADIO LARGO			CODO ESTÁNDAR DE 45°		
10	0.375	1.64		0.44	0.38		0.44
15	0.5	1.31		0.41	0.37		0.41
20	0.75	0.96		0.38	0.35		0.38
25	1	0.77	0.42	0.36	0.34		0.36
32	1.25	0.64	0.38	0.34	0.33		0.34
40	1.5	0.56	0.35	0.32	0.33		0.32
50	2	0.45	0.3	0.3	0.32		0.3
65	2.5	0.38	0.27	0.29	0.31		0.29
80	3	0.33	0.25	0.28	0.3		0.28
100	4	0.26	0.22	0.26	0.29		0.26
150	6		0.18	0.24			0.24
200	8		0.16	0.23			0.23
250	10		0.14	0.21			0.21
300	12		0.13	0.21			0.21
350	14		0.12	0.2			0.2
400	16		0.11	0.2			0.2
450	18		0.11	0.19			0.19
500	20		0.1	0.19			0.19

Tamaño nominal de la tubería		Instituto Hidráulico		Crane	Instituto Hidráulico		Crane
		Atornillada	C/Brida	Ambas	Atornillada	C/Brida	Ambas
[mm]	[in]	CODO DE 45° RADIO LARGO			CONEXIÓN EN T (FLUJO DESVIADO)		
10	0.375				2.63		1.66
15	0.5				2.37		1.55
20	0.75				2.05		1.44
25	1		0.23		1.85	1	1.35
32	1.25		0.22		1.71	0.95	1.26
40	1.5		0.21		1.6	0.9	1.21
50	2		0.2		1.44	0.84	1.14
65	2.5		0.19		1.33	0.8	1.09
80	3		0.19		1.25	0.76	1.04
100	4		0.18		1.13	0.71	0.98
150	6		0.17			0.64	0.89
200	8		0.16			0.59	0.84
250	10		0.16			0.56	0.81
300	12		0.15			0.54	0.78
350	14		0.15			0.52	0.76
400	16		0.15			0.5	0.74
450	18		0.14			0.49	0.72
500	20		0.14			0.47	0.71