



FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA

**CURSOS INSTITUCIONALES**

DIRECCION GENERAL DE CARRETERAS FEDERALES  
SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

**TECNICAS MODERNAS DE CONSTRUCCION  
DE PUENTES**

19, 20 y 21 de junio de 1996

**PUENTES ATIRANTADOS**

EXPOSITOR: ING. ADOLFO SANCHEZ SANCHEZ  
AGUASCALIENTES, AGS.

1996

730720 000000 0000  
00 0000 0000 0000 0000 0000

0000 0000 0000 0000

0000 0000 0000 0000  
0000 0000 0000 0000  
0000 0000 0000 0000

0000 0000 0000 0000  
0000 0000 0000 0000

0000 0000 0000 0000  
0000 0000 0000 0000  
0000 0000 0000 0000  
0000 0000 0000 0000

**CURSO DE CAPACITACION  
TECNICAS MODERNAS PARA LA CONSTRUCCION DE PUENTES**

**AGUASCALIENTES, AGS.**

**JUNIO 19,20,21, 1996**

**PROGRAMA**

**ANTECEDENTES:**

La ingeniería mexicana ha tenido que aplicar recientemente técnicas avanzadas para la construcción de grandes puentes en plazos muy cortos. Dada la dinámica que se observa en el desarrollo tecnológico de la ingeniería de puentes, se hace necesario que los ingenieros involucrados en estas obras conozcan periódicamente los avances obtenidos.

**OBJETIVO:**

Que los asistentes conozcan las técnicas de vanguardia que se han aplicado en la construcción de grandes puentes de México y que comprendan que el éxito en la aplicación de esas técnicas se fundamenta en la adecuada interrelación entre los diferentes actores de las obras: Proyectistas, Constructores y Supervisores.

**DIRIGIDO A:**

Ingenieros y técnicos que participan en los estudios, el proyecto, la construcción y la supervisión de puentes.

**AREAS TEMATICAS:**

**I) Generalidades**

Importancia de la Residencia  
Importancia de la Supervisión  
Importancia del Proyecto

**Viernes 23**

- 9:00 A 10:00 Comportamiento de apoyos y juntas de dilatación  
Ing. Juan Pedro Ize Malaise  
Freyssinet, de México, S.A. de C.V.
- 10:00 A 11:00 Puentes empujados de estructura mixta(Acero-Concreto)  
Ing. Oscar Alcaraz Lafarga  
Freyssinet, de México, S.A. de C.V.
- 11:00 A 11:30 **RECESO**
- 11:30 A 12:30 Control geométrico de puentes atirantados  
Ing. Hugo Alberto Álvarez Solís  
Structures, de México, S.A. de C.V.
- 12:30 A 13:30 Sistema para dar continuidad en campo a tableros de vigas libremente apoyadas.  
Ing. Jean Robidet De Menou  
Tedibor, S.A.
- 13:30 A 14:30 Puente "Quetzalapa"  
Ing. Jorge Arreola Aguilar  
Arreozábal Ingenieros y Constructores, S.A de C.V.
- 14:30 A 15:00 Importancia del proyecto en la aplicación de Técnicas innovadoras de construcción  
Ing. Carlos Alvarez Guillen  
Subdirector de Estructuras  
Dirección General de Carreteras Federales
- 15:00 A 15:30 **CLAUSURA**  
Ing. Ariel Jesús Peniche Díaz  
Director General del Centro S.C.T. Aguascalientes
- 15:30 **COMIDA**

## **PROGRAMA:**

### **Miércoles 19**

- 8:00 A 10:00 Registro de Participantes
- 10:00 A 10:30 Inauguración  
Ing. Ariel Jesús Peniche Díaz  
Director General del Centro S.C.T. Aguascalientes
- 10:30 A 11:30 **PRESENTACION**  
Ing. Ambrosio Rosales Bautista  
Director de Obras de la Dirección General  
de Carreteras Federales  
Responsabilidades de la Residencia en la aplicación  
de Técnicas modernas de construcción.
- 11:30 A 12:30 Construcción de un puente aplicando  
elementos prefabricados  
Ing. René Carranza Aubry  
Servicios Preesforzados S.A.
- 12:30 A 13:00 **RECESO**
- 13:00 A 14:00 Supervisión externa de puentes  
Ing. Francisco Ponce Córdoba  
Ingeniería y Administración Racional
- 14:00 A 16:00 **COMIDA**
- 16:00 A 17:00 Puentes empujados  
Ing. Juan Manuel García Chávez  
Supervisión Especializada Técnica de Obras, S.A. de C.V.
- 17:00 A 18:00 Soldadura en puentes  
Normas: Ing. Benito García Jiménez  
Defectos Comunes: Ing. Benito Toledano Olivares  
Recomendaciones: Ing. Pio Quinto Juárez González  
Dirección General de Servicios Técnicos (S.C.T.)

**Jueves 20**

- 9:30 A 10:30 Apoyos y juntas de dilatación  
Ing. Sergio Arjona Prieto de la Torre  
Director General Avro-Construcciones S.A. de C.V.
- 10:30 A 11:30 Apoyos y Juntas de Dilatación  
Ing. Arturo Villaseñor Martínez  
Ing. Juan Cuatecontzi Rodríguez  
Mexpresa, S.A de C.V.
- 11:30 A 12:00 **RECESO**
- 12:00 A 13:00 Puente "Papaloapan"  
Ing. Arturo Villaseñor Martínez  
Ing. Juan Cuatecontzi Rodríguez  
Mexpresa, S.A de C.V.
- 13:00 A 14:00 Sistemas de preesfuerzo, apoyos y  
juntas de dilatación  
Arq. Víctor Hoyos Parrao  
DSL-Dywydag
- 14:00 A 16:00 **COMIDA**
- 16:00 A 17:00 Problemas de soldadura en grandes  
puentes metálicos  
Ing. Fernando Fossas Requena  
Comec, S.A. de C.V.
- 17:00 A 19:00 Puentes atirantados  
Ing. Adolfo Sánchez Sánchez  
Servicios de Ingeniería para Puentes

## Viernes 23

- 9:00 A 10:00 Comportamiento de apoyos y juntas de dilatación  
Ing. Juan Pedro Izé Malaise  
Freyssinet, de México, S.A. de C.V.
- 10:00 A 11:00 Puentes empujados de estructura mixta(Acero-Concreto)  
Ing. Oscar Alcaraz Lafarga  
Freyssinet, de México, S.A. de C.V.
- 11:00 A 11:30 **RECESO**
- 11:30 A 12:30 Control geométrico de puentes atirantados  
Ing. Hugo Alberto Álvarez Solís  
Structures, de México, S.A. de C.V.
- 12:30 A 13:30 Sistema para dar continuidad en campo a tableros de vigas libremente apoyadas  
Ing. Jean Robidet De Menou  
Tedibor, S.A.
- 13:30 A 14:30 Puente "Quetzalapa"  
Ing. Jorge Arreola Aguilar  
Arreozábal Ingenieros y Constructores, S.A de C.V.
- 14:30 A 15:00 Importancia del proyecto en la aplicación de Técnicas innovadoras de construcción  
Ing. Carlos Alvarez Guillen  
Subdirector de Estructuras  
Dirección General de Carreteras Federales
- 15:00 A 15:30 **CLAUSURA**  
Ing. Ariel Jesús Peniche Díaz  
Director General del Centro S.C.T. Aguascalientes
- 15:30 **COMIDA**



ADOLFO  
SANCHEZ S.  
Ingeniero Civil!

PUENTES  
ATIRANTADOS



En 1977 se determinó construir en México dos puentes de grandes dimensiones con superestructura suspendida mediante cables rectos, denominada "atirantada", uno de ellos sobre el Río Coatzacoalcos y el otro sobre el Río Pánuco, frente a la ciudad de -- Tampico.

Como esta tecnología era hasta ese momento desconocida en nuestro País, se realizó una serie de investigaciones sobre el particular para poder estar en condiciones de realizar los proyectos y llevar a cabo su construcción.

Fué entonces cuando empecé a hacer una recopilación de datos al respecto, dando como resultado el presente trabajo, actualizado al año de 1993, para presentarse en un Seminario sobre Puentes Atirantados que organizó el Ministerio de Obras Públicas de la República de Colombia, en la ciudad de Manizales.

De 1993 a la fecha se encuentran en construcción nuevos puentes citándose, por ejemplo, el Glebe Island, en Australia con un -- tramo principal de 345 m; el Zaltbommel sobre el Río Waal, en -- Holanda con un tramo principal de 256 m. y el puente sobre el -- Río Lezer, en España, con un tramo principal de 124 m. Los -- tres con superestructura de concreto y el último con una arquitectura muy singular.

En este mismo período se terminaron, entre otros, en México el Puente Papaloapan sobre el Río del mismo nombre, con superes-- tructura de concreto, siendo su tramo principal de 203 m. y, en Francia, el Puente Iroise sobre el Río Elorn, también con superestructura de concreto y tramo principal de 400 m. y el Puente Normandía, que con su claro principal de 856 m. establece un -- nuevo récord.

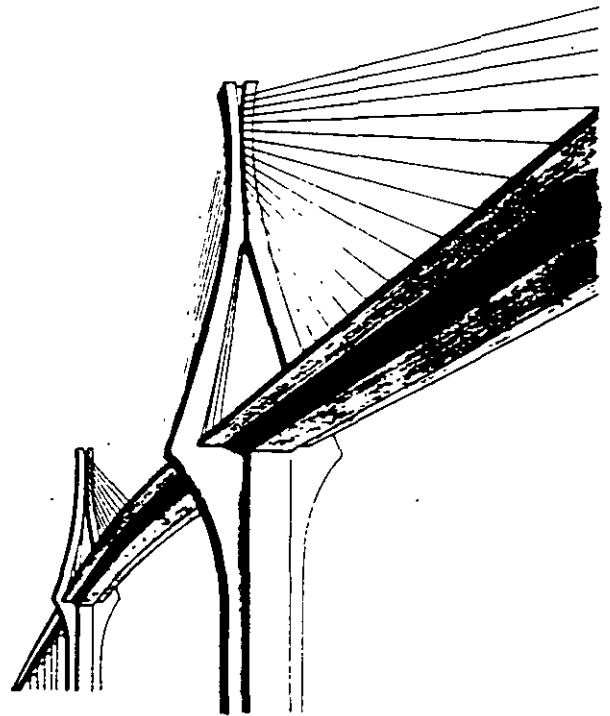
Junio 20 de 1996

Ing. Adolfo Sánchez Sánchez

P U E N T E S

A T I R A N T A D O S

ING. ADOLFO SANCHEZ SANCHEZ



SEPTIEMBRE 1993

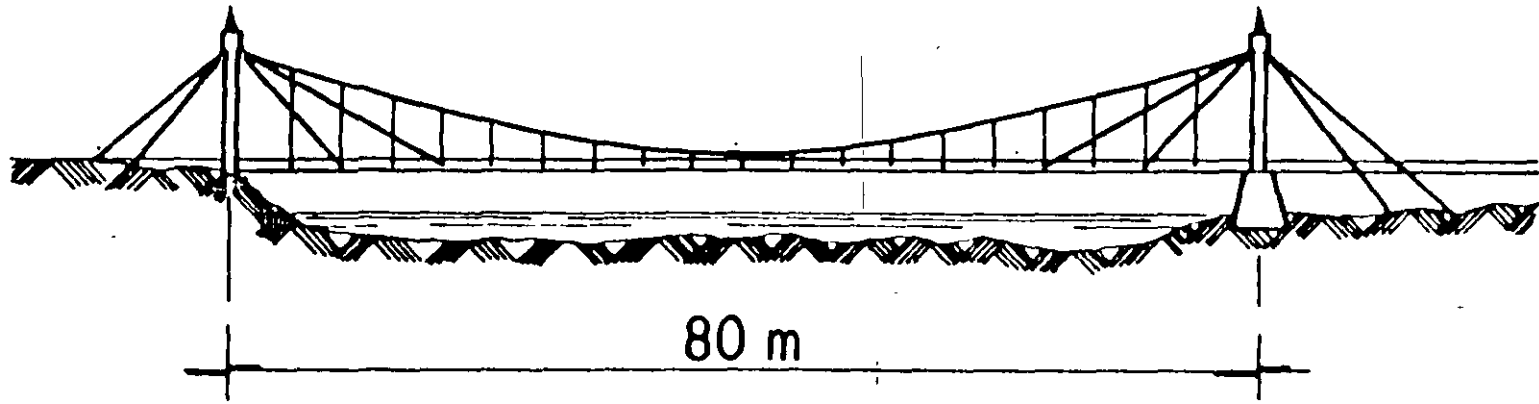
## P U E N T E S   A T I R A N T A D O S

Para hacer referencia a los puentes atirantados, hay que mencionar que éstos son sólo una de tantas estructuras en las que su estabilidad puede resolverse mediante la utilización de cables rectos, proporcionando apoyo a un sistema de vigas maestras para lograr grandes superficies cubiertas, edificios suspendidos, plataformas, estacionamientos, pasarelas peatonales, etc. Sin embargo, es en los puentes donde su realización es más espectacular por la magnitud de sus claros y los procedimientos constructivos que esta tecnología ha desarrollado en forma acelerada en los últimos años.

Debido a su elemental concepción, la construcción de puentes suspendidos por elementos rectos sujetos a tensión, se remonta a los tiempos más antiguos de la humanidad, sin embargo, su desarrollo racional comenzó realmente en los inicios del siglo XVIII, habiéndose logrado un avance significativo hasta principios del siglo XIX en que con motivo de dos accidentes importantes se detuvo este desarrollo; el colapso del puente Pryburg en Gran Bretaña en 1818, debido a oscilaciones por el viento y al derrumbe del puente sobre el Río Saale en 1824, en Alemania, provocado por la aplicación de una sobrecarga dinámica producida por una muchedumbre para observar una regata.

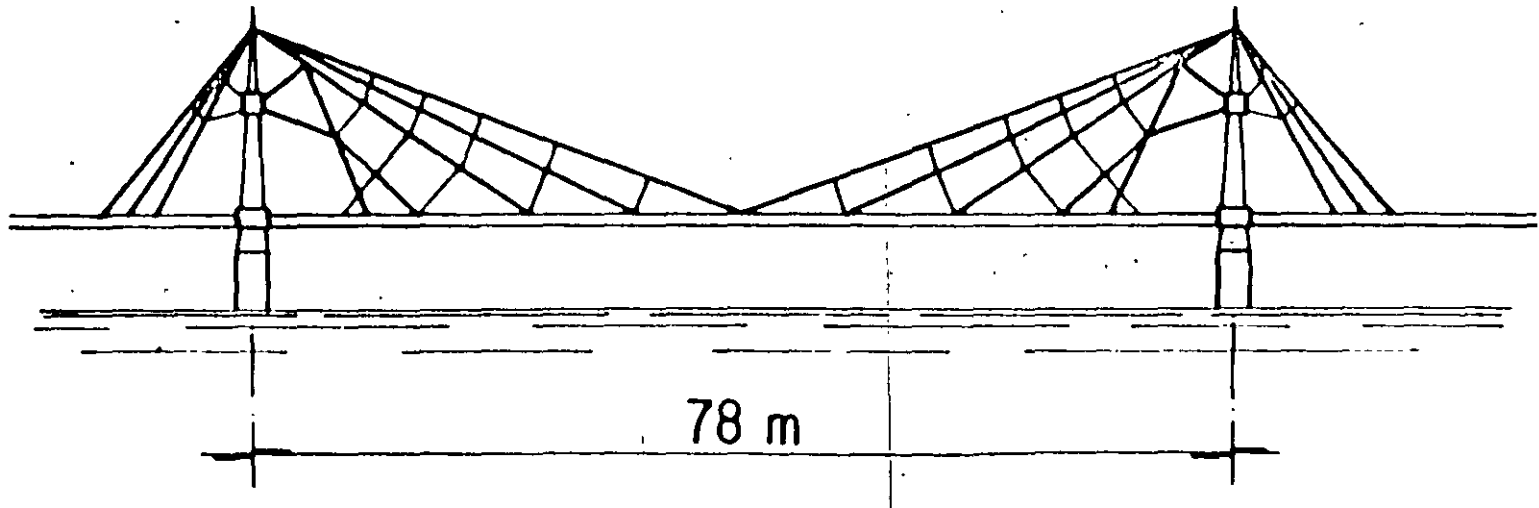
Estos accidentes fueron causados por insuficiencia tecnológica en los apoyos y conexiones del atirantamiento, compuesto por barras y cadenas con propiedades mecánicas pobres y adicionalmente a que los tirantes no se ponían en tensión por efecto del peso propio, lo que producía al sistema de piso deformaciones excesivas hasta que el tirante perdía la flexibilidad originada por su gran catenaria inicial.

Un informe de Navier, científico francés, quien estudió estos accidentes a mediados del siglo pasado, originó que durante --



PUENTE PRYBURG

COLAPSADO EN 1818



PUENTE RIO SAALE

COLAPSADO EN 1804

unos 100 años no se realizaran obras de estas características.

Fué Roebling el que reanudó la construcción de este tipo de puentes en los Estados Unidos. En 1846 realizó uno sobre el Río Ohio y en 1855 otro para ferrocarril sobre el Río Niágara con un claro de 250 m, utilizando para la suspensión de los dos tercios laterales del claro principal, cables rectos y uno curvo para el tercio central. Aplicando los resultados obtenidos, en 1883 se concluye la construcción del Puente Brooklyn en la ciudad de New York, obra que a la fecha se encuentra en operación con un claro principal de 486 m.

A principios de la década de los cincuentas y ante la necesidad de reconstruir los puentes destruidos durante la Segunda guerra Mundial, especialmente en Alemania, se restableció la aplicación de los puentes atirantados, aprovechando la disponibilidad de materiales de mejor calidad, como los alambres, cables y placas de acero de altas propiedades mecánicas y los avances en la técnica de la construcción de elementos metálicos soldados, integrando estructuras ortotrópicas.

Al construirse en Suecia en el año de 1955 el Puente Strömsund con un tramo central de 182 m y dos laterales de 75 m con tablero metálico, se inicia la era moderna de los puentes suspendidos por cables rectos. En los años subsecuentes, Alemania construye varios de este tipo sobre el Río Rin y a partir de la década de los sesentas empieza a generalizarse su aplicación en varios países de Europa, fundamentalmente con tablero metálico.

En 1962 se construye en América el primer puente con esta tecnología, con tablero de concreto. Corresponde a Venezuela el privilegio de realizar el fantástico Puente de Maracaibo, que en su estructura principal tiene 5 tramos de 235 m.

Los Estados Unidos construyen en 1977 su primer puente atirantado moderno en el Estado de Washington, para cruzar el Río Colum-

bia, entre las poblaciones de Pasco y Kennewick, con un claro -- principal de 299m y tablero de concreto, utilizando elementos -- prefabricados.

En 1983 España pone en operación el Puente Ing. Carlos Fernández Casado, sobre el embalse Barrios de Luna, con un tablero de concreto de únicamente 2.30 m de peralte y un claro principal de -- 440 m; este puente, por sus características, ocupó durante 8 --- años el primer lugar en el mundo.

México inaugura el 17 de octubre de 1984 su primer puente atirantado, que con sus 288 m de claro y tablero de concreto ocupa el 7º lugar mundial y se yergue majestuoso con su inigualable belleza sobre el Río Coatzacoalcos.

Al ponerse en servicio en 1986, en Vancouver, Canadá, el Puente Annacis, construido con tablero de acero y sistema de piso de -- concreto, con un tramo principal de 465 m, se estableció un nuevo record.

De la investigación realizada en el año de 1988 para conocer las características de los puentes atirantados construidos en diversos países del mundo, se obtuvieron datos interesantes, primero, que el número aproximado de obras de este tipo, construidas en un lapso de 33 años (1955 a 1988) en 32 países, era de 130: 44 -- con tablero de concreto y 86 de acero.

Los países que habían realizado un mayor número eran Japón y Alemania, con 48 y 23, respectivamente, lo que significa un 37% y un 18% del total. Respecto al material utilizado en el tablero, Alemania sólo contaba con 2 de concreto y Japón con 14.

Se tiene conocimiento que en los últimos 5 años se han construido del orden de 38 y se encuentran en proceso algunos otros, destacando 2 en Francia y uno en Inglaterra.

Los países que más obras realizaron en este período son: México con 11, Japón 8 y Francia 5. De los construídos en México destacan el Puente Tampico con un tramo principal de 360 m, superestructura metálica y atirantamiento axial y el Puente Mezcala, que tiene tres tramos atirantados, dos de 311 m y uno de 299. La pila más alta tiene 165 m de altura y su pilón 77 m. La superestructura es de vigas metálicas con losa de concreto y el atirantamiento está dispuesto lateralmente.

De las obras realizadas en Japón, 2 establecen nuevos records. Con estructura metálica, el Puente de Tsushima, con un claro de 510 m, un ancho de 29 m y atirantamiento axial; la altura de la pila-pilón es de 172 m. Con estructura de concreto, el Puente Iguchí, con un claro de 490 m, su atirantamiento es lateral, su ancho es de 24 m y la pila-pilón tiene 119 m. Otro puente importante es el Yokohama, con un claro de 460 m y 40 m de ancho, está resuelto a la manera de los puentes colgantes, mediante una armadura que permite el tránsito de vehículos por la parte superior y a través de ella. Su atirantamiento es lateral y la pila-pilón tiene 172 m de altura.

De los puentes en construcción destaca el que se realiza en la desembocadura del Río Sena, en Normandía, con una longitud total 2181 m. Su tramo principal establecerá un número record con 856 m. La superestructura es de concreto, con excepción de 816m de la parte central del tramo principal que es de acero. El atirantamiento es lateral, dispuesto en medio abanico. La pila-pilón tendrá una altura de 210 m.

Los puentes que ocupan los primeros lugares por la magnitud de su claro principal se relacionan en las dos hojas siguientes y en las subsecuentes se presenta una relación de los puentes que existen en el mundo, según la investigación realizada.

PUENTES QUE OCUPAN LOS PRIMEROS LUGARES EN EL MUNDO  
POR LA MAGNITUD DE SU CLARO PRINCIPAL

N O M B R E	CLARO MAXIMO	PAIS	AÑO DE CONSTRUCCION
<u>TABLERO DE ACERO</u>			
1. TSURUMI	510 M.	JAPON	1990
2. HIGASHI KOBE SUIRO	485 M.	JAPON	1988
3. ANNACIS (ALEX FRASER)	465 M.	CANADA	1986
4. YOKOHAMA	460 M.	JAPON	1985
5. CHAO PHYA	450 M.	TAILANDIA	1987
6. HITSUISHI E IWAKURO	420 M.	JAPON	1987
7. NEIKONISHI	406 M.	JAPON	1989
8. NAGOYA	405 M.	JAPON	1985
9. SAINT NAZAIRE	404	FRANCIA	1975
10. RANDE	400 M.	ESPAÑA	1977
11. LULING	372 M.	ESTADOS UNIDOS	1983
12. FLENE DUSSELDORF	368 M.	ALEMANIA	1983
13. TJORN	366 M.	SUECIA	1982
14. TAMPICO	360 M.	MEXICO	1988
14. YAMATO	354 M.	JAPON	1982
15. NOVI SAD	351 M.	YUGOSLAVIA	1981
16. JINDO	344 M.	JAPON	1984
17. LOWER YARRA MELBOURNE WEST GATE	336 M.	AUSTRALIA	1974
18. ZARATÉ BRAZO LARGO	330 M.	ARGENTINA	1975
19. KOHLBRAND HOCH HAMBURGO	325 M.	ALEMANIA	1974
20. FARO	290 M.	DINAMARCA	1985



PUENTES QUE OCUPAN LOS PRIMEROS LUGARES EN EL MUNDO  
POR LA MAGNITUD DE SU CLARO PRINCIPAL

N O M B R E	CLARO MAXIMO	PAIS	AÑO DE CONSTRUCCION
-------------	-----------------	------	------------------------

TABLERO DE CONCRETO

1. IGUCHI	490 M.	JAPON	1991
2. BARRIOS DE LUNA	440 M.	ESPAÑA	1983
3. SUNSHINE SKYWAY	366 M.	ESTADOS UNIDOS	1987
4. POSADAS ENCARNACION	330 M.	ARGENTINA	1988
5. BROTONNE	320 M.	FRANCIA	1977
6. PASCO KENNEWICK	299 M.	ESTADOS UNIDOS	1977
7. COATZACOALCOS	288 M.	MEXICO	1984
8. WADI KUF	282 M.	LIBIA	1972
9. FERNANDO REIG	276 M.	ESPAÑA	1987
10. EAST HUNTINGTON	274 M.	ESTADOS UNIDOS	1985
11. WAAL BEI TIEL	267 M.	HOLANDA	1974
12. CHACO CORRIENTES	245 M.	ARGENTINA	1973
13. COOPER S. CAROLINA	245 M.	ESTADOS UNIDOS	1990
14. MARACAIBO	235 M.	VENEZUELA	1962
15. SHANDONG	220 M.	CHINA	1981

## PUENTES ATIRANTADOS CON TABLERO METALICO

NOMBRE	CLAROS PRINCIPALES (M)	AÑO	PAIS
STROMSUND	75-183- 75	1955	SUECIA
BUCHENAUER	13- 59- 13	1956	ALEMANIA
THEODOR HEUSS	200	1958	ALEMANIA
REHIN DUSSELDORF	108-260-108	1959	ALEMANIA
SEVERINS COLONIA	302-151	1959	ALEMANIA
*	128	1960	JAPON
NORDERELBE HAMBURGO	64-172- 64	1963	ALEMANIA
JULICHERSTR DUSSELDORF	32- 99- 32	1963	ALEMANIA
REHIN LEVERKUSEN	50-280- 50	1965	ALEMANIA
USK RIVER	68-150- 68	1965	INGLATERRA
REHIN MAXAU	175-116	1966	ALEMANIA
BET MAYA KOBE	69-139	1966	JAPON
WYE ZUGE SEVERN	85-253- 85	1966	INGLATERRA
REHIN BONN FRIEDRICH EBERT	120-280-120	1967	ALEMANIA
REHIN RESS KALKAR	104-255-104	1967	ALEMANIA
BATMAN	215	1967	AUSTRALIA
ONOMISHI HIROSHINA	85-215- 85	1968	JAPON
HARMSENBRUG ROTTERDAM	109- 47	1968	HOLANDA
MASSENA PARIS	81-161- 81	1969	FRANCIA
LUDWIGSHAFEN	141-138	1969	ALEMANIA
LABLANC MONTREAL	90-241- 90	1969	CANADA
REHIN DUSSELDORF II KNIE	320-194	1969	ALEMANIA
REHIN DUISBURG NEUENKAMP	93-350- 93	1970	ALEMANIA
TOYOSATO OSAKA	80-216- 80	1970	JAPON
GOLEKOPPERBRUG	70-180- 70	1971	HOLANDA
KAMATSUGAWA TOKIO	60-160- 60	1971	JAPON
ERSKINE	110-305-110	1971	ESCOCIA
*	160	1972	JAPON
DONAU BRATISLAVA	73-303	1972	CHECOESLOVAQUIA
REHIN MANNHEIM	288-125	1972	ALEMANIA
DONAU HAINBURG	138-228	1972	AUSTRIA
DONAU LINZ	192-215	1972	AUSTRIA
REHIN OBERKASSEL	257-206	1973	ALEMANIA

PUENTES ATIRANTADOS CON TABLERO METALICO

NOMBRE	CLAROS PRINCIPALES (M)	AÑO	PAIS
DONAU DEGGENAU	290-145	1974	ALEMANIA
LOWER YARRA MELBOURNE WEST GATE	144-336-144	1974	AUSTRALIA
REHIN SPEYER	275-181	1974	ALEMANIA
KOHLBRAND HOCH HAMBURGO	97-325- 97	1974	ALEMANIA
FRANKLINSTRADEN DUSSELDORF	42-125- 42	1974	ALEMANIA
*	40- 40	1974	JAPON
ZARATE BRAZO LARGO	110-330-110	1975	ARGENTINA
SUEHIRO	110-250-110	1975	JAPON
*	100-240-100	1975	JAPON
KAMOME	91-240- 91	1975	JAPON
*	54- 83- 54	1975	JAPON
SAINT NAZAIRE	158-404-158	1975	FRANCIA
*	200	1976	JAPON
*	179	1976	JAPON
*	165	1976	JAPON
*	103	1976	JAPON
EWIJK	270	1976	HOLANDA
*	90-220- 90	1976	JAPON
RANDE	147-400-147	1977	ESPAÑA
*	144	1977	JAPON
ARNO	71-206- 71	1977	ITALIA
SAVE BELGRADO	50-254- 50	1978	YUGOESLAVIA
*	40- 40	1978	JAPON
BYBRUA	82-185	1978	
ALBERT GANAL	210	1978	BELGICA
NOVI SAD	60-351- 60	1981	YUGOESLAVIA
WILLEMS	270	1981	HOLANDA
*	127	1982	JAPON
TJORN	124-366-124	1982	SUECIA
*	150-22	1982	JAPON
YAMATO	149-115-149	1982	JAPON
FLEHE DUSSELDORF	39-118	1983	ALEMANIA
LULING	155-372-155	1983	ESTADOS UNIDO
*	280	1984	JAPON

PUENTES ATIRANTADOS CON TABLERO METALICO

NOMBRE	CLAROS PRINCIPALES (M)	AÑO	PAIS
FLOBER FRANKFURT	42-106	1984	ALEMANIA
JINDO	70-344- 70	1984	JAPON
*	100- 58	1984	JAPON
PENANG	107-225-107	1984	MALASIA
ADHAMIYAH	183-121	1984	
MUNA	60-222-60	1984	
NAGOYA	175-405-175	1985	JAPON
CHAO PHYA	61-450- 61	1985	TAILANDIA
IGUROJIMA ARMADURA (DOBLE)	185-420-185	1985	JAPON
FARO	120-290-120	1985	DINAMARCA
*	153- 22	1985	JAPON
AKKAR	76- 76	1985	INDIA
*	45- 45	1985	JAPON
ANNACIS VANCOUVER	183-465-183	1986	CANADA
AJIRIVER	120-350-120	1987	JAPON
TAMPICO	70-360-70	1988	MEXICO
QUINCY	134-274-134	1988	ESTADOS UNIDOS
HIGASHI KOBE SUIRO	485	1988	JAPON
YASAKA	90-240-90	1989	JAPON
	184	1989	FRANCIA
SAMBRE	108	1989	BELGICA
WEIRTON STEUBENVILLE	250-210	1989	ESTADOS UNIDOS
	101-250-101	1989	JAPON
SECOND HOOGHLY	183-465-183	1990	INDIA
TSURUMI	510	1990	JAPON
ZALTBOMMEL	256	1990	PAISES BAJOS
MEIKONISHI	406	1991	JAPON
LA BARQUETA	---	1991	ESPAÑA
ROJO GOMEZ	21- 53- 21	1991	MEXICO
CANAL SAN JUAN	20- 52- 20	1991	MEXICO
TELECOMUNICACIONES	18- 50- 18	1991	MEXICO
CRISOSTOMO BONILLA	20- 52 -20	1991	MEXICO

PUENTES ATIRANTADOS CON TABLERO METALICO

NOMBRE	CLAROS PRINCIPALES (M)	AÑO	PAIS
REPUBLICA FEDERAL	18- 50 - 18	1991	MEXICO
AMADOR SALAZAR	22- 54 - 22	1991	MEXICO
YOKOHAMA	200-460 -200	1992	JAPON
MEZCALA	299-311-311	1993	MEXICO
EL ZAPOTE	176- 62	1993	MEXICO
EL CAÑON	95-166	1993	MEXICO
SEVERN	456	EN CONS- TRUCCION	INGLATERRA
NORMANDIA	856	EN CONS- TRUCCION	FRANCIA

\* El nombre de esta estructura no se tiene en idioma español, ya que los datos se obtuvieron de publicaciones en japonés.

PUENTES ATIRANTADOS CON TABLERO DE CONCRETO

NOMBRE	CLAROS PRINCIPALES (M)	AÑO	PAIS
MARACAIBO	95-235- 95	1962	VENEZUELA
DNJEPR KIEV	66-144- 66	1965	RUSIA
POLCEVERA GENOVA	86-208- 86	1967	ITALIA
ANSA DE LA MAGLINA	82- 53	1967	ITALIA
ANGOSTURA		1969	VENEZUELA
MAIN HOCHST	90-115	1972	ALEMANIA
WADI KUF	97-282- 97	1972	LIBIA
CHACO CORRIENTES	163-245-163	1973	ARGENTINA
MAGDALENA	50-140- 50	1974	COLOMBIA
WAAL BEI TIEL	95-267- 95	1974	HOLANDA
DANUBIO VIENA	56-119- 56	1975	AUSTRIA
*	104	1976	JAPON
CARPINETO	50-181- 50	1977	ITALIA
BROTONNE	143-320-143	1977	FRANCIA
KWANG FU	64-134-134- 67	1977	TAIWAN
PASCO KENNEWICK	124-299-124	1977	ESTADOS UNIDOS
TUBERIA	130	1977	ARGENTINA
*	97	1978	JAPON
EBRO	32-146	1978	ESPAÑA
*	46- 85- 46	1979	JAPON
*	120	1979	JAPON
GANTER	127-174-127	1979	SUIZA
*	128	1980	JAPON
SHANDONG	94-220- 94	1981	CHINA
*	64	1981	JAPON
*	176	1981	JAPON
*	28- 57	1981	JAPON
DONAU METTEN	145- 68	1981	ALEMANIA
*	94-220- 94	1982	JAPON
*	52-200	1982	JAPON
*	30- 52	1982	JAPON
NISHIKIGAOKA		1983	JAPON
BARRIOS DE LUNA	101-440-101	1983	ESPAÑA

PUENTES ATIRANTADOS CON TABLERO DE CONCRETO

NOMBRE	CLAROS PRINCIPALES (M)	AÑO	PAIS
EIMEIKAN	67- 49	1984	JAPON
COATZACOALCOS	112-288-112	1984	MEXICO
POSADAS ENCARNACION	115-330-115	1985	ARGENTINA
EAST HUNTINGTON W.VIRGINIA	274-185	1985	ESTADOS UNIDOS
DIEPOLDSAU RHINE	40- 97- 40	1985	SUIZA
*	86	1986	JAPC
*	74	1986	JAPON
SUNSHINE SKYWAY TAMPA	147-366-147	1987	ESTADOS UNIDOS
FERNANDO REIG	276	1987	ESPAÑA
JAMES VIRGINIA	192	1987	ESTADOS UNIDOS
THE NECHES TEXAS	85-195- 85	1989	ESTADOS UNIDOS
WANDRE	168	1989	BELGICA
COOPER S. CAROLINA	45-245-45	1990	ESTADOS UNIDOS
IGUCHI	490	1990	JAPON
BORGOÑA	152	1990	FRANCIA
	---	1990	FRANCIA
AOMORI	---	1990	JAPON
MARTIRES DE GRENOBLE	120	1991	FRANCIA
	---	1991	ESPAÑA
BIDOUZE	134	1991	FRANCIA
ALZATE	130-130	1991	BELGICA
ARA DE PORTIMAO	256	1991	PORTUGAL
RIO GUADIANA	324	1992	ESPAÑA
MACAU-TAIPEK	112-112-112	1992	HONG-KONG
QUETZALAPA	105-213-105	1993	MEXICO
RIO ELORN	400	EN CONS- TRUCCION	FRANCIA

\* El nombre de estas estructuras no se tiene en idioma español, ya que los datos se obtuvieron de publicaciones en japonés.

PAISES QUE TIENEN CONSTRUIDOS PUENTES ATIRANTADOS

PAIS	NUMERO	CLARO MAXIMO	AÑO DE CONSTRUCCION
ALEMANIA	23	59 A 368	1956 A 1981
ARGENTINA	4	130 A 330	1973 A 1985
AUSTRALIA	2	215 A 336	1967 A 1974
AUSTRIA	3	119 A 228	1972 A 1975
BELGICA	4	210	1978 A 1991
CANADA	2	241 A 465	1969 A 1986
CHECOESLOVAQUIA	1	303	1972
CHINA	1	220	1981
COLOMBIA	1	140	1974
DINAMARCA	1	290	1985
ESCOCIA	1	305	1971
ESPAÑA	7	146 A 440	1977 A 1991
ESTADOS UNIDOS	9	192 A 372	1977 A 1989
FRANCIA	8	161 A 404	1969 A 1991
HOLANDA	5	109 A 270	1968 A 1981
HONG-KONG	1	112	1992
INDIA	2	76 A 465	1985 A 1990
INGLATERRA	2	150 A 253	1965 A 1966
ITALIA	4	82 A 208	1967 A 1977
JAPON	52	40 A 510	1960 A 1992
LIBIA	1	282	1972
MALASIA	1	225	1984
MEXICO	12	52 A 360	1984 A 1993
PORTUGAL	1	256	1991
RUSIA	1	144	1965
SUECIA	2	183 A 366	1955 A 1982
SUIZA	2	97 A 174	1979 A 1985
TAILANDIA	1	450	1985
TAIWAN	1	134	1977
VENEZUELA	2	240	1962 A 1969
YUGOESLAVIA	2	254 A 351	1978 A 1981
OTROS PAISES	4	183 A 256	1978 A 1990



Adicionalmente a los puentes, se tiene información de que existen más de 50 pasarelas peatonales atirantadas; en estas obras - Japón también ha construido un porcentaje muy importante.

Para analizar cómo fué el desarrollo de los puentes atirantados en los últimos 38 años, se presenta en una gráfica el número de ellos y el año en que se terminó su construcción.

De 1955 a 1965 el crecimiento promedio anual fué de 1.2; en los siguientes 8 años, aumentó a 3.5 y de 1973 a 1978 aumentó hasta 7.2, en los dos siguientes años se presentó un ligero descenso en la tasa de crecimiento, pero de 1980 a 1986 nuevamente alcanzó un valor de 7.2. La predicción para el año 2000 es de 5.7.

Por lo que respecta al crecimiento, tomando en cuenta el material que integra el tablero, se observa que para el caso de acero, el crecimiento promedio anual en los 10 primeros años fué de 1. De 1965 a 1973 de 3.2, de 1973 a 1978 de 5, de 1978 a 1983 bajó a 1.6, pero de 1983 a 1985 aumentó hasta 7.5. La predicción para 2000 es de 3.3.

Para los puentes con tableros de concreto, de 1962 a 1976 la tasa de crecimiento fué de 0.85, de 1976 a 1985 aumentó a 2.8 y la predicción para 2000 será del orden de 2.4.

Para conocer cuántos metros de puente se construyeron en promedio por año, considerando únicamente la parte atirantada, se presentó en una gráfica la suma de las longitudes de las estructuras realizadas desde 1955 a la fecha.

De esta gráfica se desprende que en los primeros 10 años, el promedio anual fué de 822 m; de 1310 m/año para el período de 1965 a 1973; 2732 m/año de 1973 a 1977, de 1977 a 1980 se redujo notablemente a 804 m/año, pero de 1980 a 1984 se incrementó hasta 2323/año y en 1985 alcanzó el valor máximo de 5120/año. La predicción para el lapso 1993 a 2000 es de 1943/año.

PASARELAS ATIRANTADAS PARA PEATONES

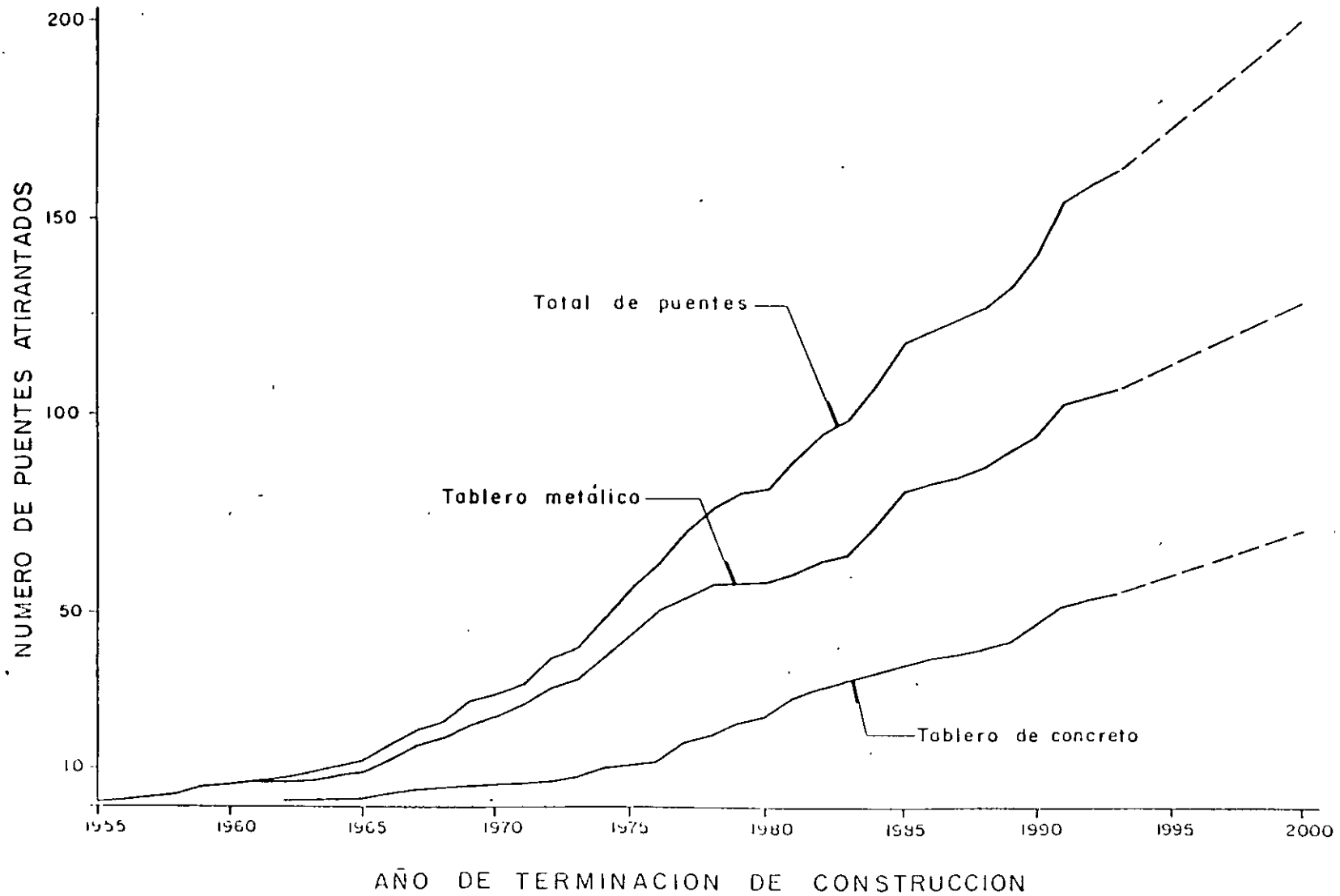
NOMBRE	LONGITUD TOTAL (M)	LONGITUDES DE TRAMOS (M)	AÑO	PAIS
brussels	58	36.4-21.6	1958	ALEMANIA
SCHILLER STREET	92.8	68.6-24.2	1961	ALEMANIA
BIRS - BASEL	50.0		1962	SUIZA
*	76.2	18.5-39.7-18.0	1963	JAPON
HAMBURG	92.2	17.1-54.3-20.8	1963	ALEMANIA
CANAL DU CENTRE	134.0	67.0-67.0	1966	BELGICA
BALLY CASTLE	63.5	21.4-20.7-21.4	1967	
*	217.0	57-102-57	1968	JAPON
*	86.4	37.8-37.8	1969	JAPON
BOURSE	105.1	31.6-73.5	1969	FRANCIA
*	50.0	30-20	1969	JAPON
*	173.0	48-77-48	1970	JAPON
*	101.0	24-53-24	1970	JAPON
*	59.0	27-32	1970	JAPON
BARWON	192.1	54.9-82.3-54.9	1972	AUSTRALIA
BASSIN DU COMMERCE	70.0		1972	FRANCIA
MOUNT STREET	71.2	35.6-35.6	1972	AUSTRALIA
VILLINGEN	97.5	31.0-66.5	1973	ALEMANIA
*	69.0	43-26	1973	JAPON
DIE KIRCH	65.0	15.0-50.0	1974	LUXEMBURGO
*	80.0	40-40	1974	JAPON
PLAZA DE LAS GLORIAS CATALANAS	97.0	15.0-50.0	1974	ESPAÑA
TILFF	71.5	19.0-52.5	1975	BELGICA
*	102.0	26-53-26	1975	JAPON
NECKAR CENTER	252.5	56.5-139.0-56.5	1975	ALEMANIA
DE LA PAZ	127.0	21-86-21	1976	ESPAÑA
*	55.0	55.0	1977	JAPON
*	129.0	96.6-32.5	1878	JAPON
*	80.0	40-40	1978	JAPON
*	129.0	87-41	1978	JAPON
MEYLAN	119.0	20.0-79.0-20.0	1979	FRANCIA
*	73.0	43-29	1979	JAPON

PASARELAS ATIRANTADAS PARA PEATONES

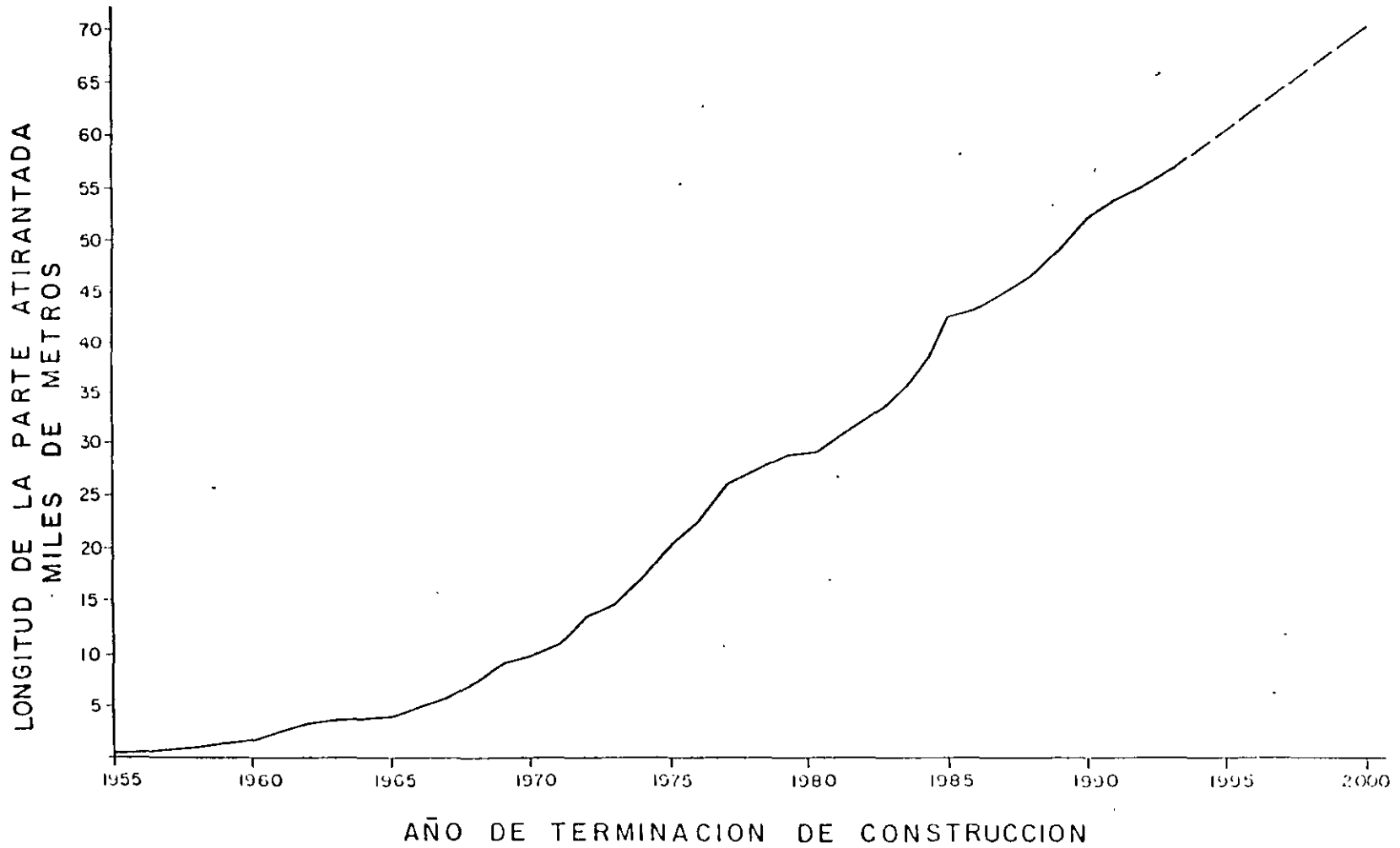
NOMBRE	LONGITUD TOTAL (M)	LONGITUDES DE TRAMOS (M)	AÑO	PAIS
*	49.0	25-24	1980	JAPON
*	74.0	17-38-17	1980	JAPON
*	90.0	24-42-24	1980	JAPON
*	80.5	64.0-16.5	1981	JAPON
*	64.0	43-21	1981	JAPON
*	80.0	63-17	1981	JAPON
*	136.0	34-67-34	1981	JAPON
*	35.0	57-28	1981	JAPON
*	80.0	49-30	1981	JAPON
*	83.0	14-53-16	1981	JAPON
*	41.0	41.0	1983	JAPON
LYON			1983	FRANCIA
*	120.0	40-80	1984	JAPON
*	77.0	50-27	1984	JAPON
*	63.0	27-9-27	1984	JAPON
*	46.0	46.0	1984	JAPON
*	101.0	44-57	1985	JAPON
*	168.0	28-90-50	1985	JAPON
POPLAR		45	1992	INGLATERRA

\* El nombre de estas estructuras no se tiene en idioma español, ya que los datos se obtuvieron de varias publicaciones en japonés.

# GRAFICA DE CRECIMIENTO DE PUENTES ATIRANTADOS



# GRAFICA DE LONGITUDES DE PUENTES ATIRANTADOS



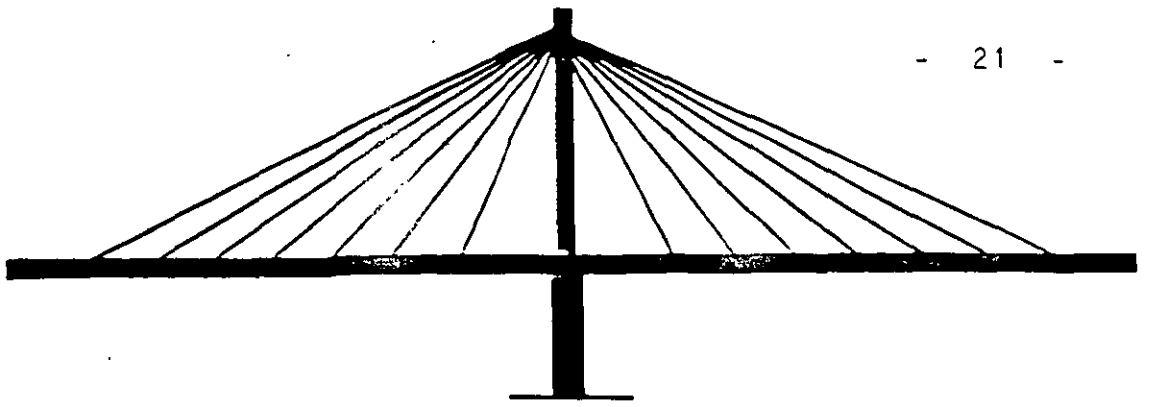
Con estos resultados se concluye que la tasa de crecimiento de los puentes atirantados en los últimos 20 años ha sido prácticamente constante y la longitud promedio construída tuvo incrementos importantes hasta llegar en 1990 a un máximo, lo que significa que la magnitud de los claros ha crecido en forma considerable.

Los elementos relevantes para la definición del proyecto de un puente atirantado son los tirantes, la pila-pilón y el tablero. Estos tres elementos están correlacionados y sus características geométricas y mecánicas dependen en gran parte de la configuración del sistema de atirantamiento. Es conveniente hacer mención de los aspectos que intervienen para su elección.

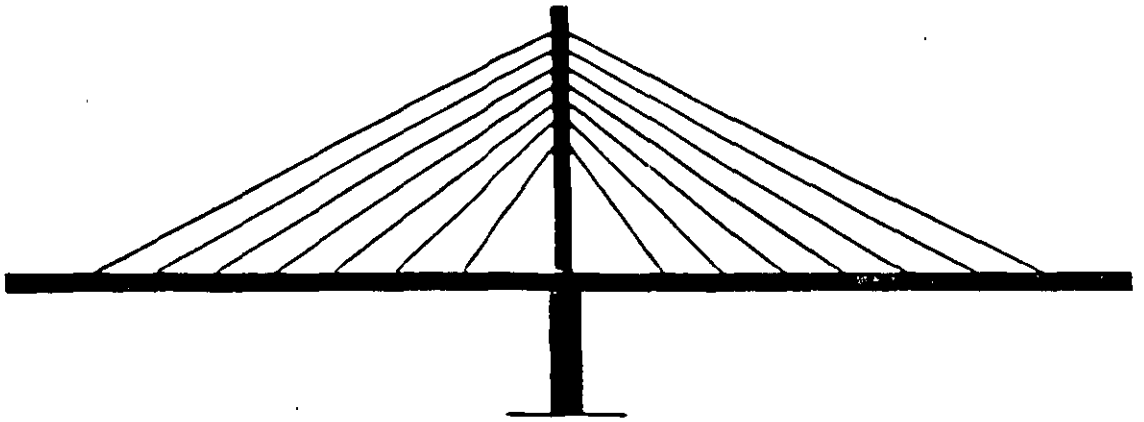
### TIRANTES

Longitudinalmente, los tirantes pueden disponerse en tres posiciones: en abanico, cuando todos los tirantes convergen en el vértice del pilón, - solución aplicada en los puentes Severin, Zárate Brazo Largo, Pasco Kennewick, entre otros - en semiabanico si los tirantes se distribuyen regularmente en la parte superior del pilón. Esta disposición, poco diferente de la anterior, ofrece la ventaja de facilitar la continuidad o el anclaje en el pilón, como ocurre en los Puentes de Brotonne, Coatzacoalcos, Bonn, etc.; en arpa, cuando todos los tirantes son paralelos. Esta disposición disminuye los riesgos de inestabilidad elástica del pilón por la distribución de los tirantes en toda su altura, lo que permite simplificaciones constructivas importantes, debido a que conservan un mismo ángulo de incidencia. Con esta forma se resolvieron la mayoría de los puentes sobre el Río Rhin, en las proximidades de la ciudad de Düsseldorf.

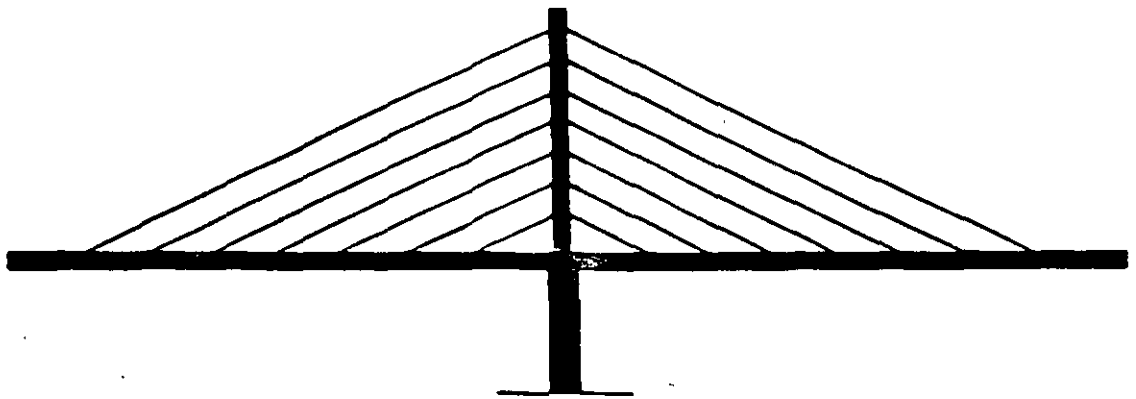
Transversalmente, los tirantes pueden disponerse contenidos en un plano situado en el eje del tablero, denominándose suspensión axial; o en dos planos laterales, paralelos o convergentes, solu



ABANICO

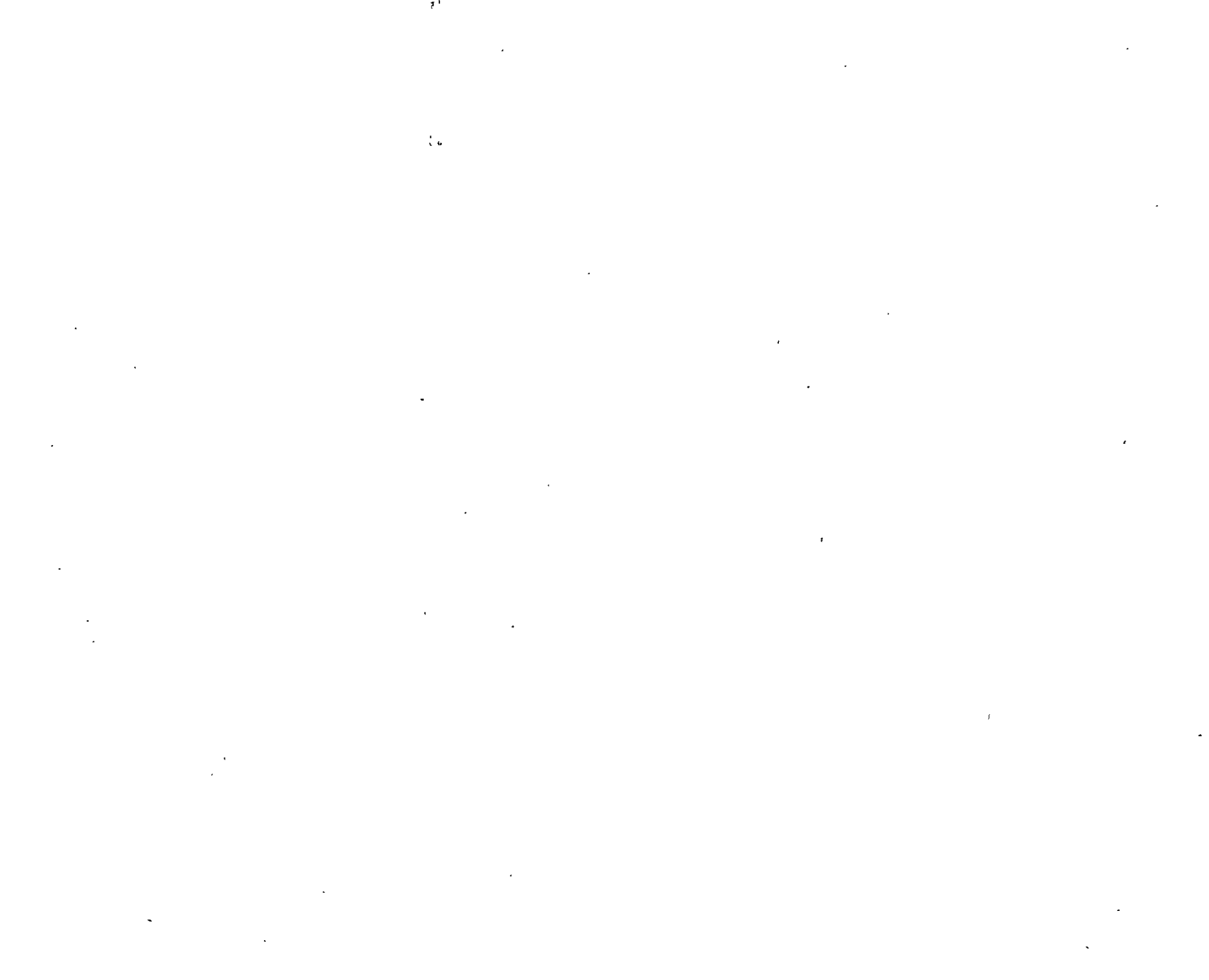


MEDIO ABANICO

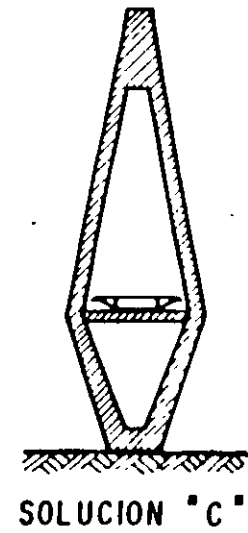
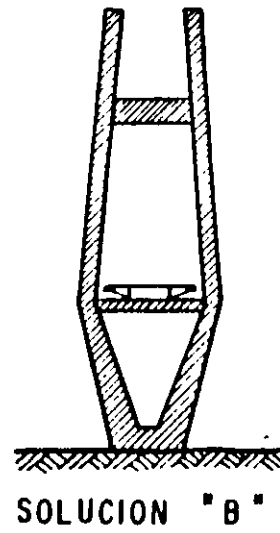
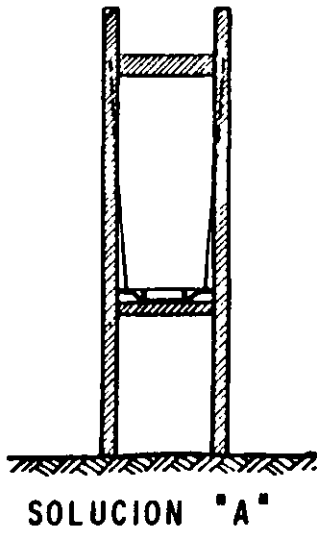


ARPA

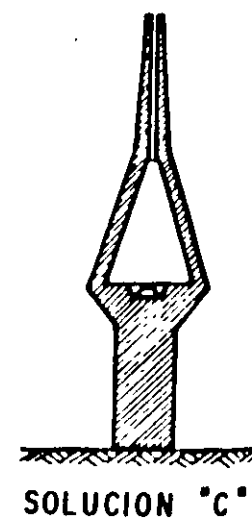
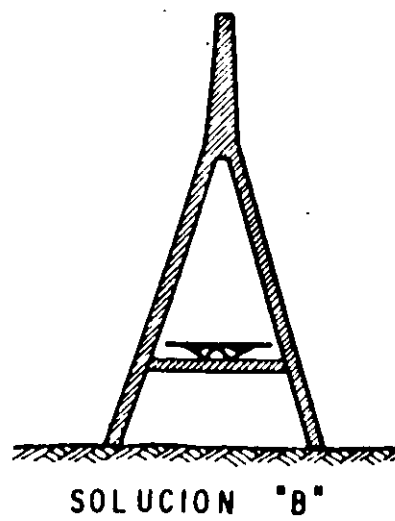
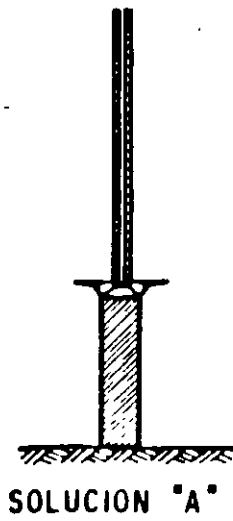
DISPOSICION LONGITUDINAL DE LOS  
TIRANTES







ATIRANTAMIENTO LATERAL



ATIRANTAMIENTO, AXIAL

TIPOS DE PILAS - PILON

Los pilones pueden quedar constituidos por una estructura metálica, como es el caso del Puente Kohlbrand, o por elementos de concreto reforzado.

### TABLERO

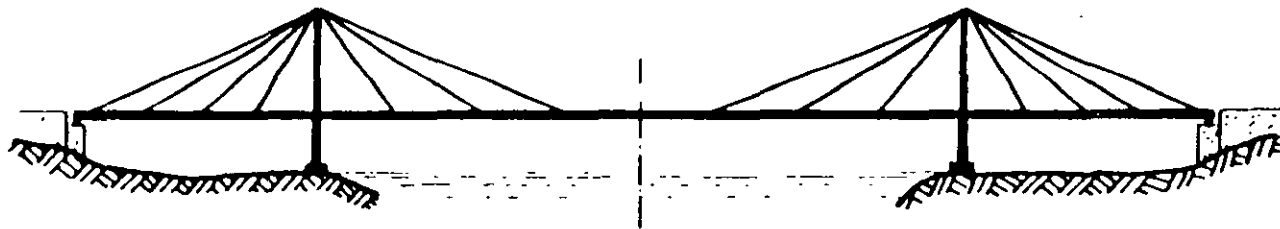
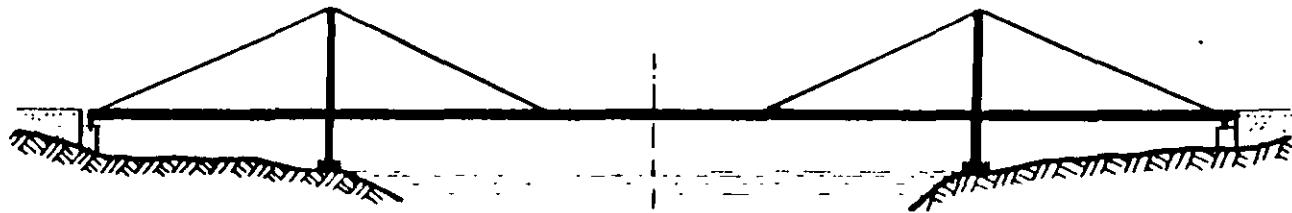
La definición de la sección transversal del tablero depende también de la configuración del atirantamiento, influyendo además - en forma importante el número de tirantes y si el tablero es de concreto, metálico o mixto, procurando lograr que éste sea lo -- más ligero posible, pero garantizando su estabilidad aerodinámica y su facilidad de construcción.

Si el atirantamiento es axial, la sección cerrada es la más eficiente, debiendo tener un peralte suficiente para obtener la rigidez torsional necesaria. Si el atirantamiento es lateral, el efecto de torsión se reduce notablemente; la sección puede ser - abierta y su peralte mínimo.

En general, en los puentes con tablero metálico se ha venido --- usando un número reducido de tirantes, como es el caso de los -- Puentes Erskine, Harmsenbrug, Mannheim. Esto produce una fle--- xión general considerable y flexiones locales entre los puntos - de suspensión, que generan momentos flexionantes importantes para las cargas permanentes y móviles, lo que motiva que los tableros requieran de grandes peraltes.

Asimismo, en los primeros puentes con tablero de concreto tam--- bién se dispuso de un número mínimo de tirantes. Morandi, en el Puente de Maracaibo únicamente colocó dos tirantes para un claro de 235 m. Con esta misma tecnología se construyeron varias --- obras muy similares en su concepción: los Puentes Wadi Kuf, Polcevera y Chaco Corrientes.

A través del tiempo, el número de tirantes se ha venido aumentando



CONFIGURACION DEL DESARROLLO DE ATIRANTAMIENTO

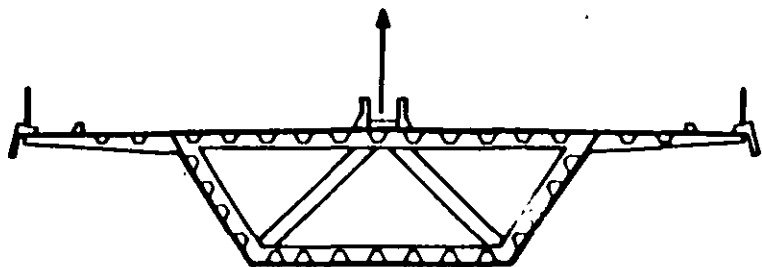
do, por las ventajas que ésto representa, sobre todo para el caso de los tableros de concreto donde lo ideal es colocar un tirante por cada dovela, con lo cual se reduce notablemente la esbeltez y el peso del tablero, sobre todo si el atirantamiento es lateral. Con esto se reduce prácticamente a cero la flexión local, al equilibrarse el efecto de las cargas de peso propio con la componente vertical de la tensión del tirante y quedar comprimida la sección por efecto de la componente horizontal, lo que le proporciona capacidad para la flexión general, que en este caso resulta mínima por la rigidez del conjunto. Sin embargo, esta solución no es práctica ni económica, ya que la longitud conveniente de cada dovela es de 3 a 4 metros, ya sea coladas en el lugar o precoladas. Además la gran cantidad de tirantes hace el efecto de una "vela" para la acción del viento transversal. El equilibrio de este problema conduce a colocar los tirantes entre 7 y 10 metros. Otra ventaja de utilizar un atirantamiento múltiple es el manejar cables de baja capacidad, con lo cual se puede simplificar los procedimientos constructivos y uniformizar los dispositivos de anclaje.

Lo anterior también tiene validez cuando se utilizan tableros metálicos, principalmente si la losa es de concreto, como es el caso del Puente de Anassis o del Puente Higashi Kobe Suiro, que tiene un tablero de armadura, de forma similar a la de los puentes suspendidos por cables curvos.

Con esta nueva morfología, las expectativas para resolver claros mayores es muy factible. Ya se ha realizado un anteproyecto para un puente en el estrecho de Messina, con un claro de 1300 m.

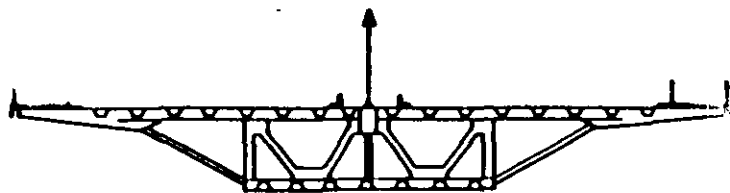
Los elementos más importantes del sistema de atirantamiento de una estructura, son los cables. De ellos depende la estabilidad de la obra, sin embargo, por sus condiciones de operación están muy expuestos a los efectos de fatiga y de corrosión. Para elegir el tipo de cable que garantice la mayor seguridad es neces-

SECCION TRANSVERSAL



SOLUCION "A"

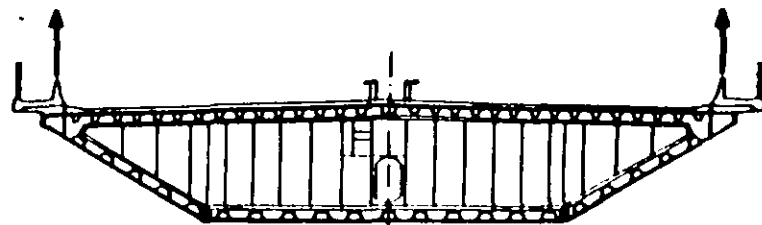
SECCION TRANSVERSAL



SOLUCION "B"

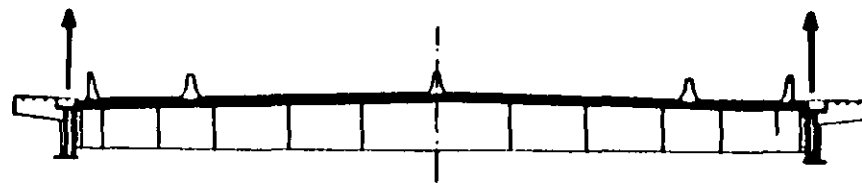
ATIRANTAMIENTO AXIAL

SECCION TRANSVERSAL



SOLUCION "A"

SECCION TRANSVERSAL

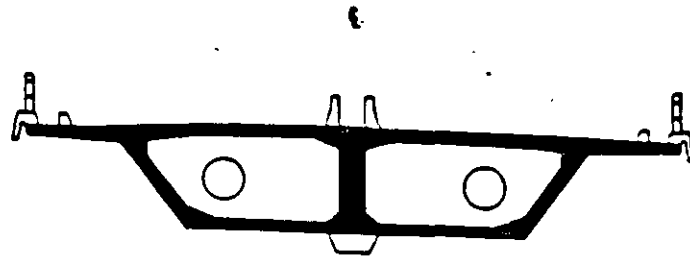


SOLUCION "B"

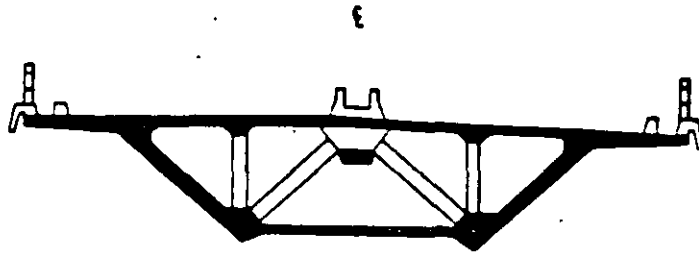
ATIRANTAMIENTO LATERAL

TABLEROS DE ACERO

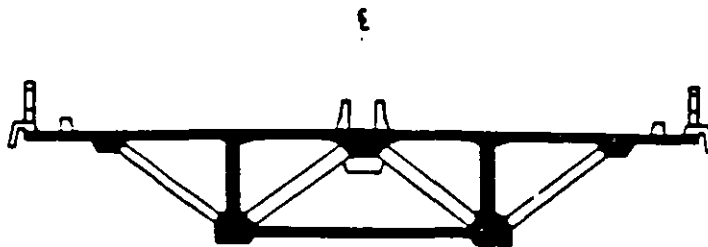
# SECCIONES TRANSVERSALES



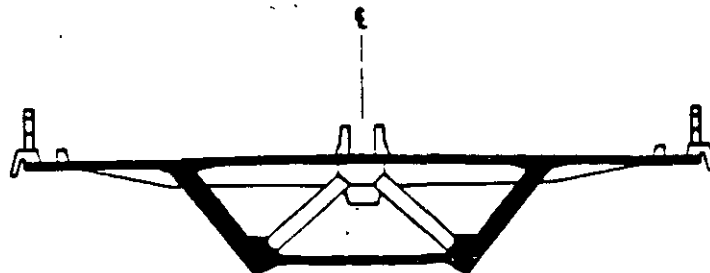
SOLUCION "A"



SOLUCION "B"



SOLUCION "C"



SOLUCION "D"

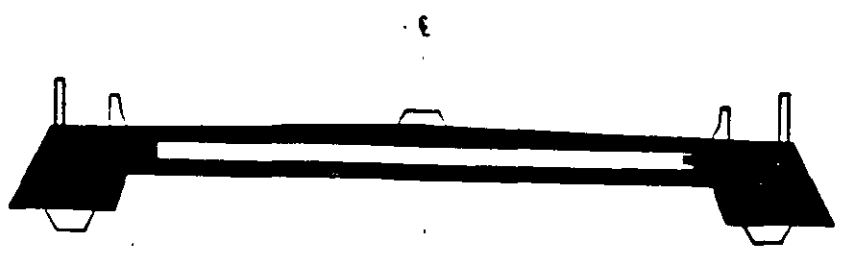
ATIRANTAMIENTO AXIAL

**TABLERO DE CONCRETO**

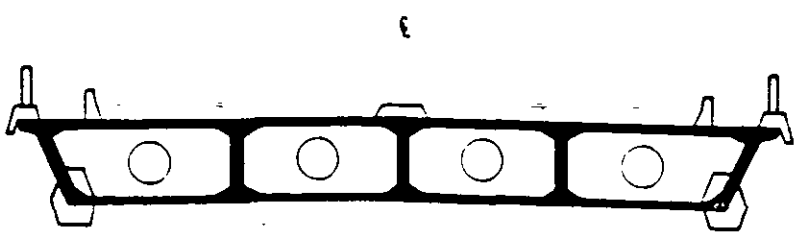
# SECCIONES TRANSVERSALES



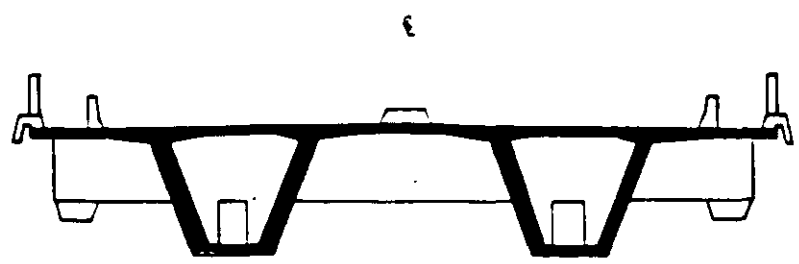
SOLUCION "A"



SOLUCION "B"



SOLUCION "C"



SOLUCION "D"

ATIRANTAMIENTO LATERAL

**TABLERO DE CONCRETO**

rio conocer con detalle las características y el comportamiento de todas sus partes que lo integran. Esto significa la realización de estudios especiales y de un número importante de pruebas y ensayos de laboratorio.

Los conceptos que requieren una atención especial son: la forma y tipo del acero, características del sistema de anclaje, capacidad de resistencia estática y a la fatiga del conjunto, procedimiento de protección contra la corrosión, formación, manejo, colocación y puesta en tensión de los cables, comportamiento dinámico por efecto de las cargas móviles, principalmente las de viento y la sustitución de los cables.

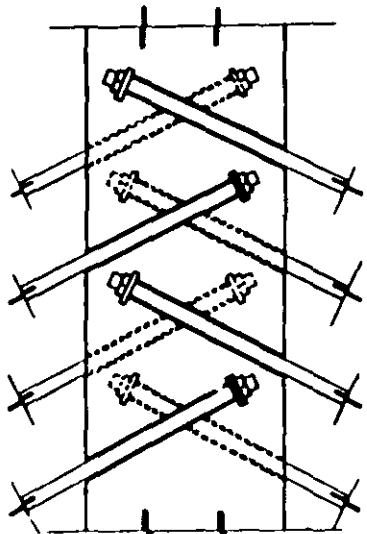
El acero se ha venido proporcionando por medio de alambres armados "cable cerrado" y alambres o torones paralelos, con resistencia a la ruptura entre 160 y 190 kg/mm<sup>2</sup>, bajo grado de relajación, poco susceptible a la corrosión y una capacidad útil, determinada por un esfuerzo máximo con valor del 45% del esfuerzo de ruptura y para una acción dinámica de 2 millones de ciclos con un rango de variación de 16 a 20 kg/mm<sup>2</sup>. Los cables formados por alambres o torones paralelos tienen un mejor comportamiento elástico, por presentar un módulo de elasticidad bien definido.

La capacidad del cable a la fatiga depende fundamentalmente de la forma de fijación del acero en los dispositivos de anclaje y de la amplitud de variación de sus esfuerzos, la cual se comprueba realizando ensayos de laboratorios.

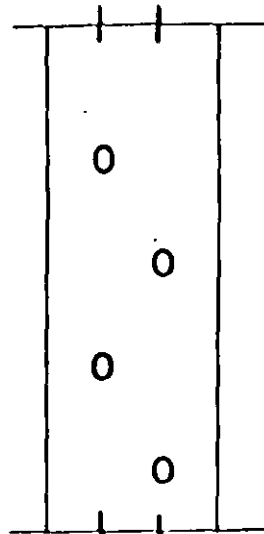
Los dispositivos de anclaje más utilizados son los desarrollados por BBR para alambres de 7 mm de diámetro, en sus versiones BBRV, DINA y HiAm. La empresa inglesa British Rope fabricó con alambres galvanizados de 7 mm los cables y sus anclajes para el puente de Anassis.

Para torones de 15 mm de diámetro, Freyssinet Internacional y la

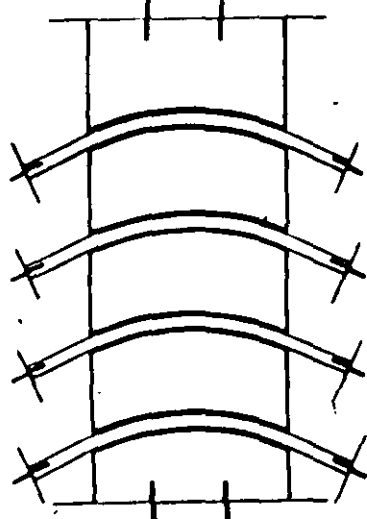




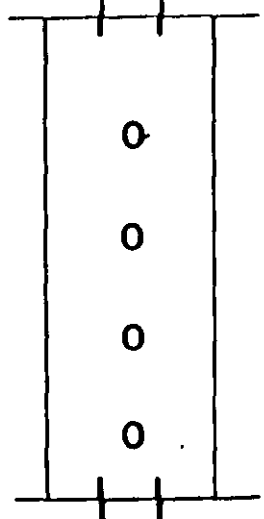
CORTE LONGITUDINAL  
CRUZADOS



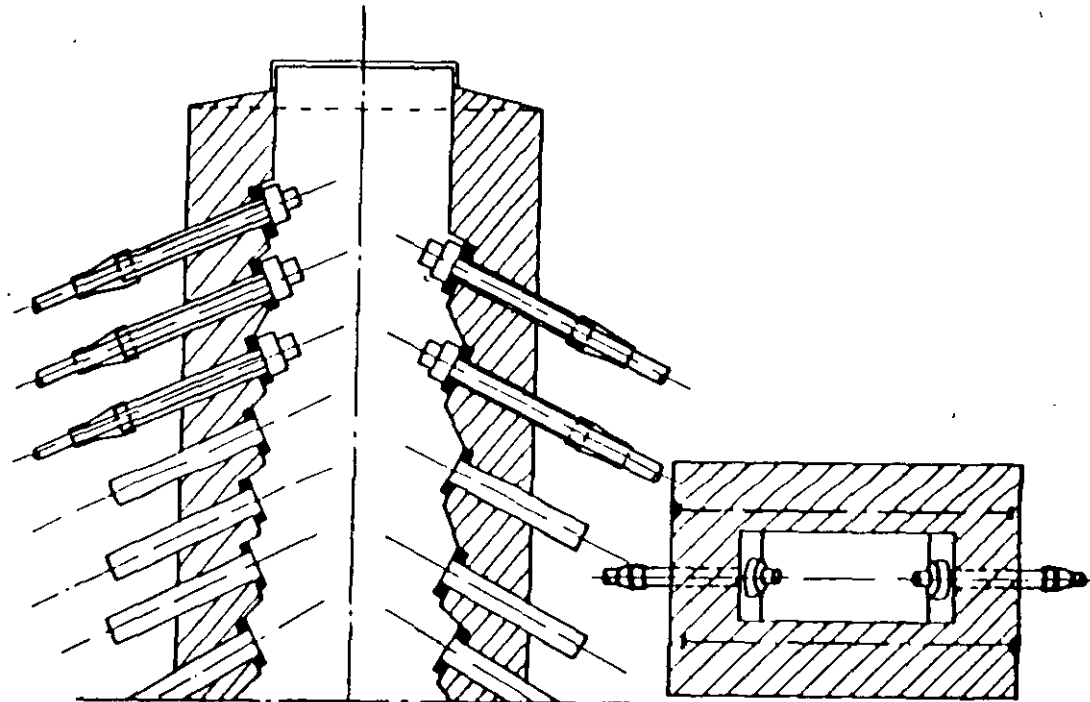
CORTE TRANSVERSAL



CORTE LONGITUDINAL  
CONTINUOS



CORTE TRANSVERSAL



CORTE LONGITUDINAL  
DISCONTINUOS

PLANTA

DISPOSICION DE LOS TIRANTES  
EN EL MASTIL

empresa española Centro de Trabajos Técnicos han desarrollado anclajes para los cables usados en los puentes de Brotonne, Rande, Coatzacoalcos y Barrios de Luna, entre otros.

En la mayoría de los anclajes los alambres o los torones presentan una desviación dentro del cuerpo de éste y para fijarlos se usa una resina dura, en algunos casos mezclándole pequeñas esferas de metal o relleno de zinc. En otros se ha colocado dentro del cuerpo del anclaje una resina blanda como protección contra la corrosión. En la cabeza del anclaje la fijación se logra por medio de botones en el caso de los alambres y por cuñas para los torones.

En los primeros puentes atirantados modernos se utilizaron cables cerrados, protegiéndolos por medio de pintura únicamente, lo que resultó insuficiente, siendo necesario sustituir varios de ellos. En el Puente Kohlbrand, a los 6 años de haberse terminado se cambiaron todos los cables.

La protección que más garantía ha ofrecido, es el uso de tubos de acero o polietileno como ducto y la inyección de una lechada de cemento. La duración de los tubos de polietileno está garantizada por 20 años, tiempo que tienen los primeros que se usaron, pero se estima que puede llegar hasta 40 ó 50 años, si su manejo es adecuado durante su transporte, colocación e inyección. Este tipo de ductos presenta gran facilidad para su colocación y permite prefabricar los cables. Los tubos de acero requieren de una protección con pintura, su colocación es lenta y difícil, sobre todo cuando los cables son de gran longitud.

Ultimamente se han realizado pruebas con resultados muy satisfactorios para utilizar cera en lugar de lechada de cemento, material que presenta ventajas y garantiza una mejor protección. La aplicación de este procedimiento de protección se inició a fines del año de 1987 en un puente construido en Bélgica y se utilizó

en los tirantes del puente Tampico.

Las Empresas fabricantes de acero para cables están produciendo torones protegidos individualmente por un recubrimiento a base de cera y forrados con polietileno.

El efecto dinámico en los cables también es muy importante, especialmente por el comportamiento aerodinámico, que puede llegar a ser peligroso para puentes con pocos tirantes y gran claro al producirse oscilaciones con una frecuencia que llegue -- hasta la resonancia. Para un sistema de atirantamiento múlti-- ple la posibilidad de inestabilidad es muy reducida, por la in-- terferencia de la diferente frecuencia de oscilación de los ca-- bles.

Otro problema dinámico es la oscilación de los mismos cables, - como ocurrió en algunos del puente Brotonne, donde fué necesari-- o instalar sobre el tablero un sistema de amortiguadores. En otros puentes se han usado amortiguadores a base de neopreno.

En el diseño de la estructura y la elección de los cables debe preverse la sustitución de éstos, por motivos, entre otros, de - posibles accidentes de tránsito o deterioro debido a corrosión.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**CURSOS INSTITUCIONALES**

DIRECCION GENERAL DE CARRETERAS FEDERALES

SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

**TECNICAS MODERNAS DE CONSTRUCCION  
DE PUENTES**

19, 20 y 21 de junio de 1996

**RECOMENDACIONES PARA SOLDAR VARILLAS  
DE REFUERZO EN ESTRUCTURAS DE CONCRETO**

**EXPOSITOR: ING. BENITO GARCIA JIMENEZ  
AGUASCALIENTES, AGS.  
1996**

Recomendaciones para  
soldar Varillas de  
Refuerzo en  
Estructuras de Concreto

Exposición del Ing. Benito García Jiménez



cuadrada ( $4\ 200\ \text{kg/cm}^2$ , aproximadamente), puede utilizarse en todas las posiciones (el 1 corresponde a electrodos adecuados para ser empleados en cualquier posición, plana, horizontal, vertical o sobre cabeza), y requiere el uso de corriente continua con polaridad invertida, es decir, el electrodo debe ser el polo positivo en el circuito, y el metal base el negativo.

Los electrodos Exx15, Exx16, Exx18 y Exx28 (así como los Exxx15, Exxx16, etc.) son de bajo contenido de hidrógeno, ya que su recubrimiento tiene muy pocos componentes que contengan ese elemento, lo que ocasiona que en la atmósfera del arco existan solo trazas de hidrógeno o de humedad.

### 3.2 Elección del tipo de electrodo

Los electrodos que se utilicen en empalmes de varillas deben proporcionar un metal de aportación que tenga propiedades físicas semejantes a las de la varilla; debe ponerse especial atención en los esfuerzos de fluencia y de ruptura en tensión y en la ductilidad, expresada en porcentaje de alargamiento.

El primer paso en la elección del tipo de electrodo se basa en la resistencia que debe tener el empalme, la que es función de la resistencia de la varilla y de los requisitos del código que se esté empleando.

De acuerdo con las normas del Instituto Americano del Concreto (ACI), se considera que un empalme soldado es ciento por ciento eficiente cuando resiste, antes de romperse, una tensión igual o mayor que la correspondiente al 125 por ciento del esfuerzo de fluencia especificado para la varilla; en cambio, otras normas (por ejemplo, las contenidas en el Manual de diseño de obras civiles de la Comisión Federal de Electricidad) exigen que los empalmes hechos con soldadura resistan, en tensión, por lo menos el ciento por ciento de la resistencia a la tensión mínima especificada para el tipo de varilla utilizado.

Por ejemplo, si se van a empalmar varillas ASTM A615-68 grado 60, con límite de fluencia mínimo de  $4\ 220\ \text{kg/cm}^2$  y resistencia a la ruptura, en tensión, no menor de  $6\ 330\ \text{kg/cm}^2$ , por medio de una soldadura a tope de penetración completa, debe usarse un electrodo de alguno de los tipos siguientes:

*Normas ACI.* El metal depositado debe tener una resistencia mínima de  $4\ 220 \times 1.25 = 5\ 275\ \text{kg/cm}^2$ , de manera que se utilizará un electrodo E 80xx, que proporciona una soldadura con resistencia de  $80\text{ksi} \approx 5\ 600\ \text{kg/cm}^2$ , o mayor.

*Manual de diseño de obras civiles de la CFE.* Se debe utilizar

un electrodo E90xx, con el que se obtiene metal de aportación que resiste, a la ruptura, no menos de  $6\ 300\ \text{kg/cm}^2$ , aproximadamente.

En general, se recomienda el empleo de electrodos de bajo contenido de hidrógeno (series Exx15, 16, 18 y 28, y Exxx15, 16, 18 y 28), entre ellos, son especialmente convenientes los de las clases Exx18-28 y Exxx18-28, ya que el hierro en polvo contenido en su recubrimiento facilita la ejecución de la junta y aumenta la velocidad de relleno.

Las características del electrodo deben ser las apropiadas al tipo de máquina de soldar que se vaya a emplear.

### 3.3 Tipos de varillas y electrodos aplicables

En la tabla 1 se indican los electrodos que deben usarse para soldar, en uniones a tope con penetración completa, los diversos tipos de varillas contenidos en las normas de la ASTM. En su elección se han seguido los dos criterios mencionados en 3.2.

## 4 ALMACENAMIENTO, MANEJO, CONDICIONES DE USO Y CONTROL DE LOS ELECTRODOS

a) Se deben almacenar los electrodos en las cajas en que los entrega el fabricante, y deben conservarse en un lugar seco y limpio.

b) Se deben manejar con el cuidado necesario para evitar que se maltraten o se contaminen con basura, aceite, agua u otras materias extrañas. Deben tomarse las precauciones necesarias para ello, tanto cuando aún están en sus envases originales como cuando se han sacado de los mismos.

c) En el momento en que se usa un electrodo, su recubrimiento debe estar completamente seco. Los electrodos que se saquen de envases sellados herméticamente deben utilizarse dentro de un periodo no mayor de cuatro horas, contadas a partir del instante en que se abre el paquete. Los electrodos que no se usen dentro de ese lapso de tiempo, los que estén almacenados en paquetes no sellados herméticamente, o los que hayan estado expuestos durante más de una hora a una atmósfera con humedad relativa de 75 por ciento o mayor, deberán secarse en hornos adecuados durante una a tres horas, a temperaturas comprendidas entre  $230$  y  $260^\circ\text{C}$ , antes de ser utilizados. Si un electrodo que ha sido secado como se indica en el párrafo anterior no se usa dentro de las cuatro horas siguientes, debe volverse a secar antes de usarse.

TABLA 2. TEMPERATURAS MINIMAS DE PRECALENTAMIENTO<sup>(1)</sup>

CONTENIDO DE C y Mn, en porcentaje	ELECTRODO <sup>(2)</sup>	TRATAMIENTO TERMICO REQUERIDO
C, hasta 0.30 Mn, hasta 0.60	Cualquiera	No se requiere precalentamiento, excepto cuando la temperatura de las varillas es menor de $-10^{\circ}\text{C}$ ; en ese caso, se precalentarán a $40^{\circ}\text{C}$ .
C de 0.31 a 0.35 Mn, hasta 0.90	Cualquiera	Las varillas se precalentarán a $40^{\circ}\text{C}$ .
	De bajo contenido de hidrógeno	No se requiere precalentamiento, excepto cuando la temperatura de las varillas es menor de $-10^{\circ}\text{C}$ ; en ese caso, se precalentarán a $40^{\circ}\text{C}$ .
C, de 0.36 a 0.40 Mn, hasta 1.30	De bajo contenido de hidrógeno	Las varillas se precalentarán a $95^{\circ}\text{C}$ .
C, de 0.41 a 0.50 Mn, hasta 1.30	De bajo contenido de hidrógeno	Las varillas se precalentarán a $200^{\circ}\text{C}$ .

(1) Estas temperaturas mínimas deben conservarse durante todo el proceso de colocación de la soldadura, es decir, el metal de aportación ya depositado y el metal base adyacente deben estar a una temperatura no menor que la indicada al iniciar la colocación de cordones sucesivos.

(2) La resistencia del electrodo se fijará de acuerdo con la tabla 1. La longitud de la zona precalentada será de tres (3) diámetros a cada lado de la junta, como mínimo.

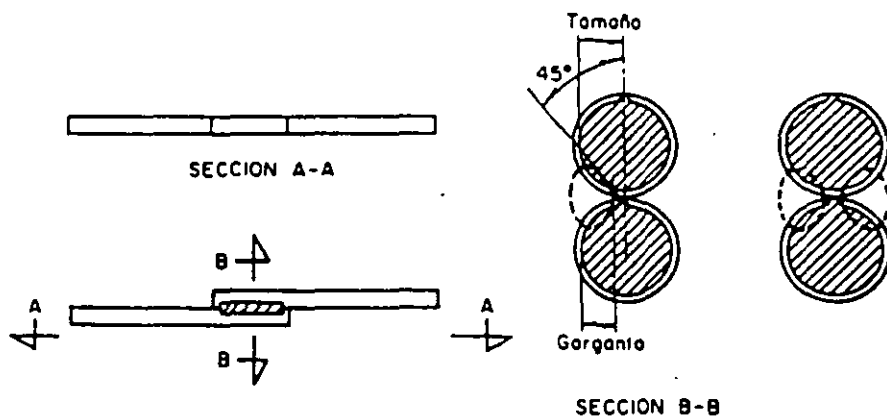


Fig 1

Se desecharán los electrodos cuyo recubrimiento se haya mojado.

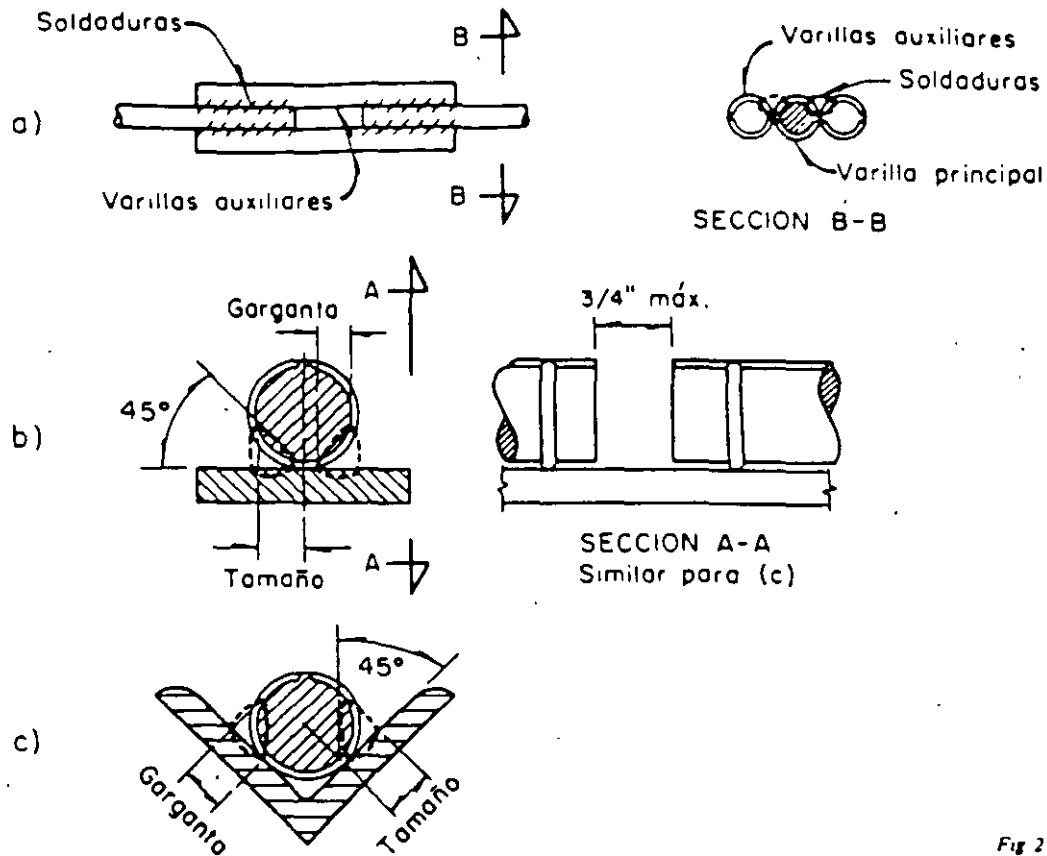
d) La entrega de los electrodos a los soldadores debe hacerla únicamente personal autorizado que lleve un control cuidadoso de las condiciones de almacenamiento, manejo y uso.

## 5. PRECALENTAMIENTO

El precalentamiento es la aplicación de calor para elevar la

temperatura de las varillas en la vecindad de la zona donde se depositará la soldadura; tiene por objeto reducir la diferencia de temperatura entre el metal de aportación y el metal base adyacente, para disminuir la velocidad de enfriamiento de la junta; de esta manera se reduce la magnitud de los esfuerzos localizados que pueden ocasionar grietas en las soldaduras o en el metal base inmediato a ellas, y se ayuda a evitar la formación de áreas duras y frágiles.





### 5.1 Temperatura de precalentamiento

Se fija de acuerdo con la tabla 2, en función de la composición química de las varillas y del tipo de electrodo.

### 5.2 Métodos de aplicación del calor

El calor puede aplicarse utilizando un soplete oxiacetilénico provisto de una boquilla especial o por resistencia al paso de una corriente eléctrica.

### 5.3 Amplitud de la zona que debe precalentarse en soldaduras a tope

Se precalentarán los extremos de las dos varillas que se vayan a soldar, en una longitud no menor de tres diámetros a cada lado de la junta.

### 5.4 Medición de la temperatura

Las temperaturas se miden por medio de crayones indicadores o de pirómetros de contacto.

## 6. CONTROL DEL ENFRIAMIENTO

No debe acelerarse el enfriamiento de las soldaduras por ningún método, por lo que quedan terminantemente prohibidas las operaciones de cualquier tipo tendientes a ese fin. Además, las juntas terminadas deben protegerse contra factores no intencionales que puedan ocasionar un enfriamiento acelerado (por ejemplo, deben recubrirse con asbesto u otro material semejante cuando existe la posibilidad de que llueva antes de que las juntas se hayan enfriado por completo, o cuando quedan sometidas a vientos de alguna importancia).

## 7. TIPOS DE JUNTAS

Pueden empalmarse las varillas de refuerzo por medio de soldaduras de filete o de soldaduras a tope, de penetración completa.

### 7.1 Uniones con soldaduras de filete

Este tipo de uniones puede hacerse traslapando las dos varillas y soldándolas entre sí, o colocando una frente a la otra y utilizando un elemento adicional para transmitir los esfuerzos.

a) Cuando la unión se efectúa traslapando las varillas, la soldadura debe depositarse, de ser posible, por ambos lados de la arista de contacto, pero se aceptan las uniones con soldadura de un solo lado, cuando el otro no es accesible. Este tipo de unión es adecuado únicamente para varillas de pequeño diámetro, no mayores del No 5 (fig 1).

b) El elemento auxiliar utilizado para unir dos varillas no traslapadas puede ser otra varilla o un par de varillas, una placa o un ángulo (fig 2). Su resistencia debe ser igual o mayor que la de las varillas que se están empalmando.

c) Las juntas excentricas (como la de la fig 1 soldada por un solo lado, la de la fig 2a con una sola varilla lateral, o la de la fig 2b) deben evitarse siempre que sea posible y, en caso de utilizarse, debe tenerse en cuenta en el diseño el efecto desfavorable de la excentricidad. Se prohíbe su uso en estructuras que vayan a quedar sometidas a un número grande de ciclos de carga, en las que la falla por fatiga sea una posibilidad.

d) Cuando se unen dos varillas del mismo diámetro, de alguna de las maneras mostradas en las figs 1 y 2a, el tamaño nominal de la soldadura es el radio de la varilla; si las dos varillas tienen diámetros diferentes, el tamaño nominal es el menor de los dos radios.

Si se emplean las uniones de las figs 2b o 2c, el tamaño nominal de la soldadura es también el radio de la varilla.

e) En cualquiera de los casos anteriores, la dimensión real de la garganta del filete de soldadura debe ser igual o mayor que 3/4 del tamaño nominal.

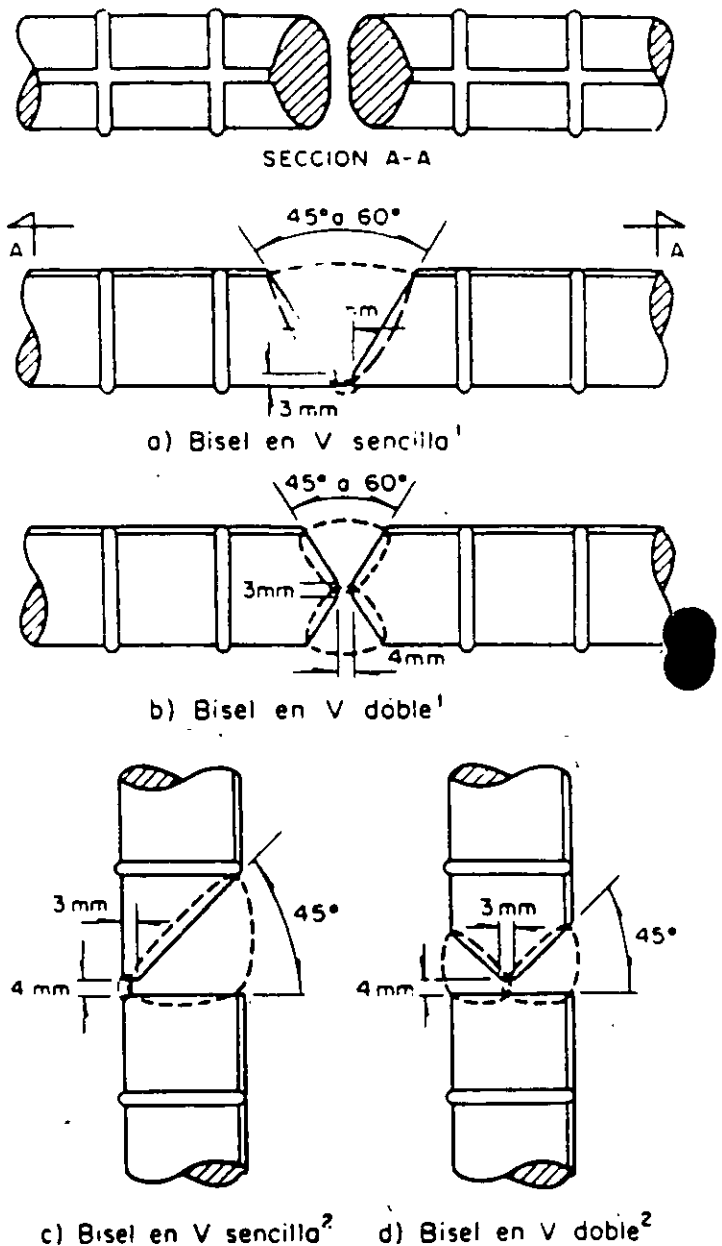
f) Se utilizarán los electrodos indicados en la tabla 1, y los esfuerzos de diseño serán los especificados para soldaduras de filete.

## 7.2 Uniones a tope con soldaduras de penetración

Se prefiere este tipo de uniones a las realizadas con soldadura de filete, excepto en varillas de diámetro muy pequeño. Se recomienda su empleo para varillas del No 8 o mayores, y en todos los casos en que determinados requisitos de colocación impidan o dificulten el uso de traslapes.

### 7.2.1 Preparaciones de los extremos de las varillas

Para permitir una colocación adecuada del metal de aportación, que debe rellenar totalmente la sección transversal de la



¹ Preparación empleada normalmente para varillas en posición horizontal  
² Preparación empleada normalmente para varillas en posición vertical

Fig 3

junta, es necesario biselar los extremos de las varillas de alguna de las maneras indicadas en la fig 3

Las preparaciones a) y b) se emplean normalmente en varillas que se sueldan en posición horizontal, y las c) y d) para varillas en posición vertical.

Las preparaciones mostradas en la fig 3 pueden utilizarse sin emplear placas u otros elementos de respaldo, únicamente en los casos en que el soldador tenga acceso cómodo a todo el perímetro de la varilla, cuando deba depositarse el metal de aportación por un solo lado de la junta, se empleará alguno de los elementos de respaldo indicados en la fig 2

## 8. MANO DE OBRA

### 8.1 Soldadores

Todos los soldadores que se utilicen para soldar varillas deberán haber sido calificados previamente en exámenes que reproduzcan, con la mayor fidelidad posible, las condiciones en las que se efectuará el trabajo

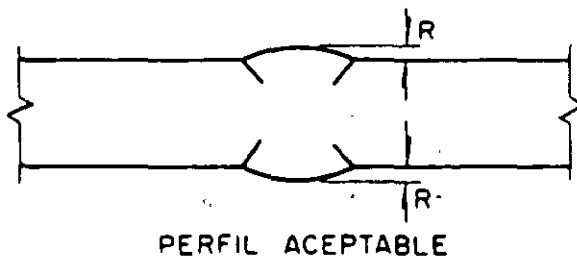
### 8.2 Condiciones en las que no debe soldarse

No se efectuará ningún trabajo de soldadura cuando la temperatura ambiente sea menor de  $-10^{\circ}\text{C}$ , cuando las superficies por soldar estén húmedas o expuestas a lluvia, granizo, nieve o vientos intensos, ni cuando los soldadores tengan que trabajar en condiciones inclementes

### 8.3 Preparación y limpieza del material

a) Las superficies por soldar y las adyacentes a ellas, hasta 5 cm a uno y otro lado de la junta, deben estar limpias, sin escamas de laminado y libres de óxido, pintura, grasa, cemento o cualquier otro material extraño. Se permite la presencia de escamas de laminado que resistan un cepillado vigoroso con cepillo de alambre, así como una ligera capa de aceite secador o de recubrimiento antioxidante

b) Las superficies en las que se vaya a depositar la soldadura, en juntas a tope con penetración completa, deben ser lisas y uniformes, sin irregularidades, rebabas, desgarraduras, grietas u



El refuerzo R no debe ser mayor de 3 mm

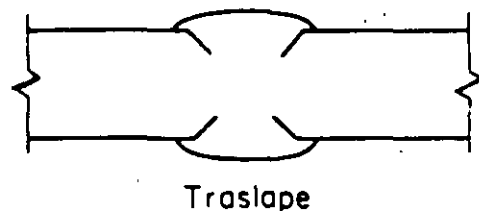
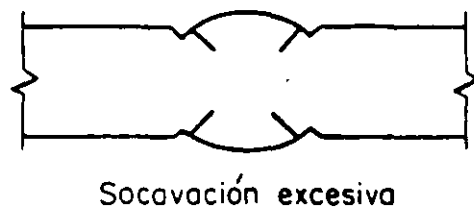
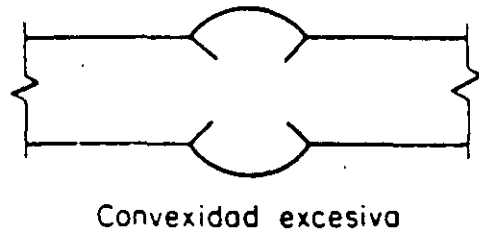
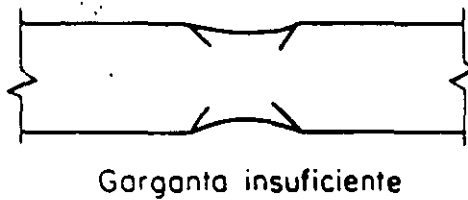


Fig 4. Perfiles inaceptables

otros defectos que afecten desfavorablemente la calidad o resistencia de la soldadura.

c) Los cortes necesarios para preparar los biseles pueden hacerse con soplete oxiacetilénico o con segueta; cuando se utilice soplete debe eliminarse la escoria producida por el corte, y el acabado final de las superficies en las que se vaya a depositar la soldadura debe ser semejante al que se obtiene en cortes con segueta. En caso de ser necesario, los cortes con soplete se corregirán con segueta, esmeril o maquinándolos.

#### 8.4 Colocación de las partes por soldar

a) Los detalles y la secuela de elaboración de las juntas se planearán de manera que se tenga siempre acceso cómodo a las superficies en las que se depositará la soldadura, y que esta pueda colocarse en todos los casos en la posición más favorable posible.

b) Las partes por unir y los elementos auxiliares, cuando estos existan deben alinearse adecuadamente para reducir las excen- tricidades a un mínimo.

c) Cuando se utilicen soldaduras de filete, las dos varillas o la varilla y la placa de empalme deben colocarse en un contacto tan completo como sea posible. La separación entre las dos partes que van a recibir el cordón no debe ser mayor de 5 mm ni de un cuarto del diámetro de la varilla; si la reparación es de 1.5 mm o mayor, el tamaño de la soldadura debe aumentarse en esa misma cantidad.

d) En uniones a tope las varillas deben alinearse perfectamente, antes de empezar a depositar la soldadura, de manera que coincidan los ejes de los tramos por unir. Es muy importante que las aristas de los biseles coincidan exactamente, tanto en tamaño como en alineamiento.

e) El desalineamiento máximo permisible es la décima parte del diámetro de la menor de las varillas, sin exceder 3 mm. Al corregir faltas de alineamiento que estén fuera de ese límite, las varillas se torcerán de manera que su pendiente no sea mayor de 1/24.

f) Una vez presentadas las varillas que se van a soldar, las dimensiones de los biseles y las separaciones entre ellas no deben diferir de las indicadas en las figs 3 y 7 en cantidades mayores que las siguientes:

	Juntas no trabaja- das por la raíz	Juntas trabajadas por la raíz
1. Cara de la raíz	$\pm 1.5$ mm	sin limitación
2. Abertura de la raíz en juntas sin placa de respaldo	-	+ 1.5 mm, - 3 mm
3. Abertura de la raíz en juntas con placa de respaldo	+ 6 mm, - 1.5 mm	-
4. Ángulo que forman las superficies entre las que se colocará la soldadura	$\pm 5^\circ$	+ $10^\circ$ , - $5^\circ$

#### 9. PERFILES DE LAS SOLDADURAS

Las soldaduras de penetración deben hacerse con un pequeño refuerzo, excepto cuando se especifique lo contrario. La altura del refuerzo no debe ser mayor de 3 mm, y la transición entre la superficie de las varillas y la zona de diámetro máximo de la soldadura debe ser gradual.

En la fig 4 se muestran los perfiles de juntas aceptables e inaceptables.

#### 10. CALIDAD DE LAS SOLDADURAS

a) Debe haber fusión completa entre el metal de aportación y el metal base, así como entre los diferentes cordones de soldadura.

b) Los cráteres se rellenarán hasta completar la sección transversal especificada de la soldadura.

c) La profundidad de una socavación no será nunca mayor de 0.25 mm cuando su dirección sea transversal a la de los esfuerzos primarios en la parte socavada, ni mayor de 0.8 mm cuando su dirección sea paralela a la de esos esfuerzos primarios.

d) No se aceptarán uniones en las que la soldadura esté traslapada sobre la varilla.

e) La suma de los diámetros de los poros visibles en la superficie de la soldadura no debe ser mayor de 9 mm en cada 2.5 cm lineales de soldadura.

f) Las uniones no deben presentar grietas en el metal base ni en el depositado; la presencia de grietas de cualquier tipo es motivo suficiente para que la unión sea rechazada.

g) Las soldaduras serán inaceptables si tienen porosidad (es decir, bolsas de gases u otros vacíos similares, de tipo globular) o defectos de fusión (inclusiones de escoria, fusión incompleta, penetración inadecuada u otros defectos semejantes), si:

1. Existen defectos individuales cuya dimensión máxima es de 19 mm o mayor.

2. Existen defectos individuales, con dimensión máxima de 2.5 mm o más, que es mayor de 2/3 de la garganta efectiva de la soldadura, o que están situados a una distancia del extremo de la soldadura menor de tres veces su dimensión mayor.

3. En cualquier longitud de seis veces el tamaño del cordón hay un grupo de defectos en línea, con dimensiones máximas de 2.5 mm o mayores, y la suma de las dimensiones máximas de todos ellos es mayor que el grueso efectivo de la junta o que el tamaño de la soldadura. Si la longitud que se examina es menor de seis veces el tamaño de la soldadura, la suma permisible de las dimensiones máximas de los defectos disminuirá proporcionalmente.

4. El espacio entre dos defectos consecutivos que tengan una dimensión máxima de 2.5 mm o mayor es menor de tres veces la dimensión más grande del mayor de los dos.

5. Existen defectos individuales con dimensión máxima menor de 2.5 mm, pero la suma de sus dimensiones máximas excede 1 cm en cualquier tramo de soldadura de 2.5 cm de longitud.

## 11. CORRECCIONES

Con autorización, por escrito, del director de la obra, pueden corregirse uniones que contengan soldaduras no satisfactorias, o que indiquen mano de obra de poca calidad; se utilizará para ello alguno de los procedimientos que se enumeran a continuación.

a) Las soldaduras o el metal base defectuosos, se corregirán sustituyendo la soldadura completa, o como sigue:

1. Traslape o convexidad excesiva, suprimiendo el exceso de metal de aportación.

2. Concavidad excesiva, cráteres, soldaduras de tamaño menor que el especificado y socavación, limpiando y depositando metal de aportación adicional.

3. Porosidad o inclusiones de escoria excesivas y fusión incompleta, quitando las porciones defectuosas y volviendo a soldar.

4. Grietas en la soldadura o en el metal base, determinando la extensión de la grieta, quitando el metal agrietado y 2.5 cm de metal sano más allá de cada extremo de la grieta, y volviendo a soldar.

b) La remoción del metal de aportación, o de porciones del metal base, puede hacerse con esmeril o ranurando con arco-aire; en cualquier caso, deben tomarse las precauciones necesarias para no dañar la soldadura restante o el metal base adyacente. Las zonas defectuosas de soldadura se removerán con cuidado para no quitar porciones importantes de metal base.

c) El metal de aportación adicional necesario para compensar deficiencias en tamaño, se depositará con un electrodo de menor diámetro que el empleado al hacer la soldadura original, y de no más de 5/32 pulg. Las superficies se limpiarán cuidadosamente antes de soldar.

d) Las varillas que hayan quedado ensambladas inadecuadamente, se cortarán y se volverán a soldar.

e) Los elementos que se deformen durante la colocación de la soldadura, se enderezarán por medios mecánicos sin impacto o mediante la aplicación, cuidadosamente supervisada, de una cantidad limitada de calor localizado. La temperatura de las áreas calentadas no pasará de seiscientos (600) grados centígrados, y las partes que se calienten estarán prácticamente libres de esfuerzos y de cargas exteriores; se exceptúan los producidos por medios mecánicos utilizados en conjunción con el calor.

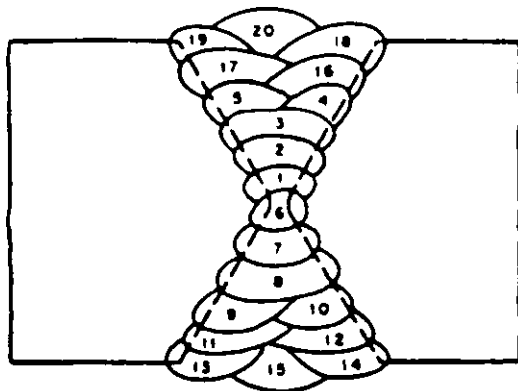
## 12. PROCEDIMIENTOS PARA LA EJECUCION DE SOLDADURAS A TOPE, DE PENETRACION COMPLETA

En las uniones a tope debe lograrse penetración completa en la sección soldada, es decir, el metal de aportación debe fundirse perfectamente con las caras de las varillas que se están empalmando en la totalidad del área de su sección transversal.

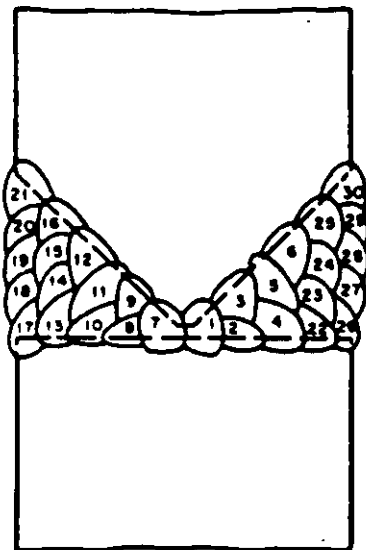
La penetración completa puede lograrse de alguna de las dos maneras siguientes:

### 12.1 Soldaduras sin respaldo

Este tipo de uniones puede hacerse únicamente cuando se tie-



a) Varillas en posición horizontal



b) Varillas en posición vertical

ne acceso libre a todo el perímetro de las varillas, lo que con frecuencia sucede solo en las mesás de armado. Cuando se emplea este procedimiento, deben utilizarse elementos de enlace provisionales que permitan alinear las varillas y conservarlas alineadas durante la colocación del metal de aportación; los elementos de enlace serán mecánicos, y se prohíbe el empleo de puntos de soldadura para fijarlos a las varillas.

En la ejecución de las soldaduras de penetración completa sin respaldo se satisfarán los siguientes requisitos:

a) La secuela de colocación de los cordones necesarios para rellenar por completo la junta, será similar a la indicada en el detalle correspondiente de la fig 5.

b) Antes de colocar cada nuevo cordón de soldadura, se limpiarán cuidadosamente los cordones anteriores suprimiendo toda la escoria y cualquier otro material extraño.

c) En todas las soldaduras de penetración debe ranurarse la raíz de la soldadura que se depositó primero, antes de empezar a soldar por el segundo lado; la ranura, que debe tener la profundidad necesaria para descubrir metal sano y limpio, y el ancho adecuado para permitir la colocación correcta del nuevo metal de aportación, puede hacerse con esmeril o con arco (fig 6).

d) En uniones con preparación en V, la secuela de colocación de los cordones será similar a la de un lado de las uniones en doble V.

e) Las secuelas indicadas son aplicables a juntas en varillas de cualquier diámetro; el número total de cordones será el apropiado en cada caso.

f) Siempre que sea posible, al soldar juntas que requieran más de cuatro cordones en cada lado, se rellenarán primero de tres cuartos a siete octavos del primer lado, se hará después la soldadura completa del segundo lado y, por último, se terminará el primero.

g) Es conveniente soldar varias varillas al mismo tiempo (de seis a ocho, como máximo) con objeto de permitir que cada cordón se enfríe antes de depositar el siguiente, para evitar un calentamiento excesivo de las juntas, que podría provocar una disminución indeseable de su ductilidad, desde luego, deben respetarse las temperaturas indicadas en la tabla 2.

h) Los tres o cuatro primeros cordones se depositarán con electrodo de 1/8 o 3/16 pulg de diámetro; en los cordones siguientes del primer lado pueden utilizarse electrodos más

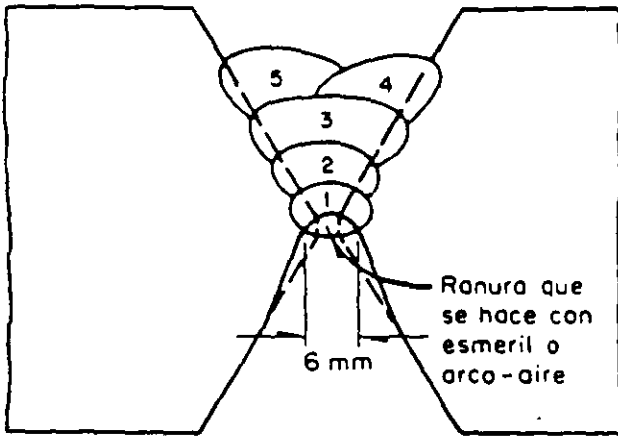


Fig. 6. Preparación de la raíz de la junta antes de empezar a soldar por el segundo lado

gruesos, pero en los tres o cuatro primeros cordones del segundo lado se volverán a usar electrodos de 1/8 o 3/16 pulg; la soldadura se completará con electrodos de mayor diámetro

## 12.2 Soldaduras con respaldo

En las obras se presentan con frecuencia casos en los que únicamente se tiene acceso a un lado de la junta por el que debe depositarse, por consiguiente, todo el metal de aportación; cuando esto sucede no se pueden emplear los procedimientos descritos anteriormente.

Este problema se presenta en columnas muy armadas, en las que el gran número de varillas impide la colocación de soldadura por el lado interior de la junta, en contratraves de cimentación, donde solo se puede trabajar por arriba y, con menos frecuencia, en traves de superestructura. En todos estos casos hay que emplear un elemento de respaldo que evite la necesidad de soldar por el lado posterior de las varillas.

Cuando se efectúen soldaduras de penetración completa con respaldo, deben cumplirse las condiciones siguientes:

a) Como elemento de respaldo se puede utilizar una placa de acero o de cobre, doblada en "media caña", de 6 mm de espesor mínimo, o un ángulo de acero estructural, también de grueso mínimo de 6 mm (fig 7). La placa doblada puede sustituirse por medio tubo de diámetro adecuado.

b) Cuando se emplee como respaldo una placa doblada de acero, el primer cordón se depositará de manera que se obtenga fusión completa entre la soldadura y la placa en toda la zona en que ambas estén en contacto

c) Si se emplea ángulo de respaldo es necesario rellenar con metal de aportación el hueco que queda entre la raíz de la junta y el borde interior del ángulo, la dificultad en obtener un relleno correcto hace que sea más recomendable el empleo de la placa doblada en media caña

d) Si el respaldo es de placa de cobre, puede quitarse después de colocar los primeros cordones, para utilizarlo en otra junta

e) El respaldo se utiliza también para fijar y alinear correctamente las varillas que se van a soldar, lo que se logra con la ayuda de medios mecánicos de sujeción, y no utilizando puntos o cordones de soldadura.

f) No es necesario quitar los respaldos de acero, pero puede hacerse si se desea, siempre que se utilicen procedimientos que no ocasionen ningún daño en la junta. Si se dejan las placas o ángulos de respaldo, debe considerarse que no contribuyen a aumentar la resistencia de la junta, pues su finalidad es permitir la colocación correcta de la soldadura y no reforzar el empalme.

g) La secuela de colocación de los cordones necesarios para rellenar la junta será análoga a la que se emplea en empalmes sin respaldo con preparación en V sencilla, y se tomarán las mismas medidas relativas a la limpieza de la junta

h) Es también recomendable soldar varias varillas simultáneamente, por las razones indicadas en 12.1 g

i) Los tres o cuatro primeros cordones se depositarán con electrodos, de 1/8 o 3/16 pulg de diámetro, excepto en el caso descrito en 13.d.3; en los restantes pueden usarse electrodos más gruesos.

## 13. RECOMENDACIONES GENERALES

a) La soldadura debe depositarse en posición plana siempre que esto sea posible.

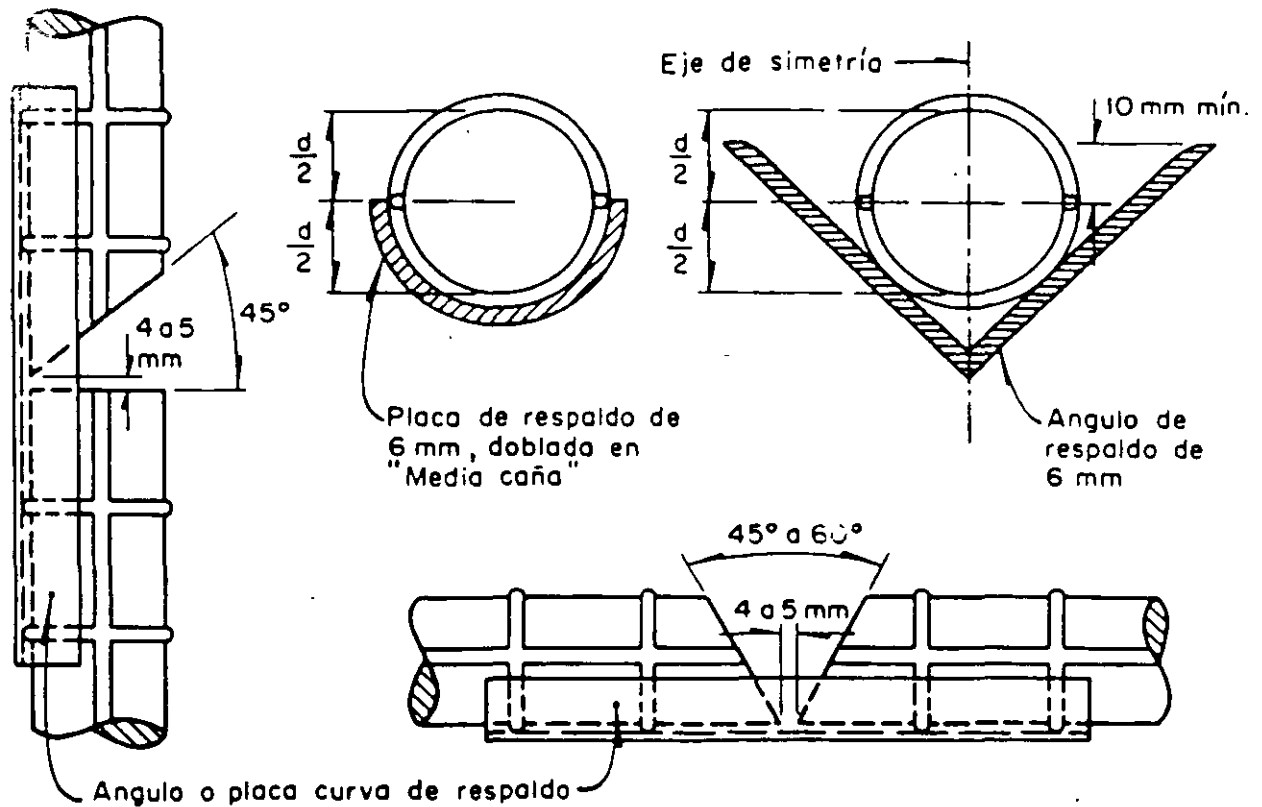


Fig 7. Juntas con placa o ángulo de respaldo

b) La clasificación y el tamaño del electrodo, la longitud del arco, el voltaje y el amperaje deben ser los adecuados al grueso de las varillas, tipo de preparación, posición en que se depositará la soldadura y demás circunstancias relativas al trabajo que se esté efectuando.

c) Se admiten las tolerancias siguientes con respecto a los valores teóricos correspondientes al tipo de electrodo y junta que se esté efectuando:

Amperaje	± 10 %
Voltaje	± 7 %
Velocidad de avance	± 10 %

d) Los diámetros máximos de los electrodos serán los siguientes:

1. 5/16 pulg para todas las soldaduras hechas en posición plana, a excepción de los cordones depositados en la raíz de la junta (cordones de fondeo).
2. 1/4 pulg para soldaduras de filete depositadas en posición horizontal.
3. 1/4 pulg para cordones de raíz de soldaduras de filete he-

chas en posición plana y de soldaduras de penetración hechas en posición plana con respaldo y abertura de raíz de 6 mm o más.

4. 5/32 pulg para soldaduras hechas con electrodos Exx14, Exxx14 y de bajo contenido de hidrógeno, en posiciones vertical o sobre cabeza.

5. 3/16 pulg para cordones de fondeo en soldaduras de penetración y para todas las soldaduras no incluidas en los puntos 1 a 4.

d) El grueso máximo de los cordones colocados después del de raíz en soldaduras de filete, y el de todos los cordones en soldaduras de penetración, será:

1. 1/4 pulg para cordones de fondeo de soldaduras de penetración.
2. 1/8 pulg para los cordones restantes de soldaduras hechas en posición plana.
3. 3/16 pulg para los cordones restantes de soldaduras hechas en posición horizontal, vertical o sobre cabeza.

El tamaño mínimo de los cordones de fondeo será el necesario para evitar que se agrieten al enfriarse.



e) Los tamaños máximos de soldaduras de filete que pueden depositarse en un solo paso son:

1 3/8 pulg en posición plana.

2 5/16 pulg en posiciones horizontal y sobre cabeza.

3 1/2 pulg en posición vertical.

f) En ningún caso se permite encender el arco contra las varillas que se van a soldar.

g) Queda prohibido el empleo de la soldadura para mantener en posición correcta las varillas, ya sean longitudinales o estribos.

## 14. INSPECCION Y CONTROL DE CALIDAD

### 14.1 Aspectos generales

La inspección constituye una parte importante del programa de operaciones requerido para la obtención de soldaduras satisfactorias. Su objeto es asegurarse de que se están cumpliendo todos los requisitos aplicables a un trabajo, y que las soldaduras satisfacen las condiciones establecidas en las especificaciones y en los planos constructivos; el método más efectivo y adecuado para lograr ese objetivo consiste en establecer desde un principio condiciones que aseguren una supervisión conveniente por parte del constructor, y una inspección suficiente para comprobar si esa supervisión se mantiene durante todo el trabajo y si a través de ella se logra una mano de obra satisfactoria que produzca los resultados deseados.

En ningún caso se debe esperar a que las soldaduras estén terminadas para revisarlas y reparar las incorrectas, ya que es mejor evitar la aparición de defectos que dejar que estos se presenten y tratar de descubrirlos y corregirlos después, lo que además puede ser difícil o aun imposible, en algunos casos.

Por consiguiente, la inspección se debe iniciar antes de comen- zarse los empalmes entre varillas, proseguirse durante todo el tiempo que dure el trabajo, y concluirse cuando este este terminado.

En primer término se debe comprobar si el acero de refuerzo que se va a emplear en la estructura es el indicado en los planos y especificaciones de proyecto, y si sus características de soldabilidad permiten obtener juntas correctas; para esto se necesita conocer la composición química de las varillas, como se menciona en 2.1. Además, se debe comprobar también que todos los soldadores que van a intervenir en el trabajo estén califi-

cados para desarrollar correctamente las actividades que les han sido asignadas, y que el equipo que utilizarán es el adecuado y está en condiciones correctas de operación

Antes de empezar a soldar se deben revisar las caras y bordes de las partes en que se va a colocar soldadura, para determinar si no existen defectos inaceptables, y si las preparaciones de las juntas son correctas en ángulo de inclinación de los biselados, abertura de la raíz, etc (esta parte de la supervisión es básica, sobre todo en soldaduras a tope en varillas gruesas, ya que no se puede lograr la penetración completa deseada, independientemente de la habilidad del soldador, electrodo empleado, etc, si existen deficiencias en las preparaciones que impidan el acceso del metal de aportación a todo el espesor de la junta); se revisará también la limpieza de las zonas en que se depositará la soldadura y el alineamiento de las varillas que se van a empalmar, así como los dispositivos empleados para mantenerlas en posición

Los procesos que se van a utilizar en los diferentes tipos de juntas serán también objeto de una revisión antes de iniciar el trabajo, para comprobar que están de acuerdo con estas recomendaciones; se vigilará continuamente que los electrodos empleados sean los correctos (teniendo en cuenta su diámetro, la resistencia deseada de la junta, la posición en que deberá depositarse la soldadura, etc), y que las características de la corriente (amperaje, voltaje, polaridad) y la velocidad de colocación de los cordones sean las adecuadas.

Evidentemente no es posible, ni necesario, que el inspector revise personalmente cada uno de los cordones de todas las juntas; deberá limitarse a determinado porcentaje de ellas, representativo de todas las demás y realizadas por diversos operarios, con objeto de comprobar su habilidad; la responsabilidad final de la calidad de todas las uniones es del constructor, quien deberá contar con una supervisión adecuada dentro de su organización.

Terminadas las juntas de una zona, y antes de que se coloque el concreto en ella, debe hacerse una inspección final, la que se lleva a cabo visualmente y se completa con otros métodos, destructivos y no destructivos.

Durante la inspección visual final se determinan los factores siguientes:

1. Alineamiento de las varillas en que se hayan efectuado empalmes soldados.
2. Conformidad con los requisitos de las recomendaciones y planos de construcción referentes a dimensiones, distribución, tamaño, contorno y continuidad de las soldaduras.

### 3 Apariencia de las soldaduras.

4 Defectos superficiales, tales como grietas, poros, cráteres, socavación, etc. (Aunque una soldadura con defectos internos de importancia puede, en algunas ocasiones, presentar una apariencia exterior aceptable, esta es, en la mayor parte de los casos, una buena indicación de que la soldadura se ha hecho correctamente.)

El objetivo final de todos los métodos de inspección es descubrir errores o defectos que puedan afectar desfavorablemente el comportamiento de las juntas, por consiguiente, la inspección debe ser precedida por una limpieza adecuada que elimine la escoria y cualquier otro material que oculte, total o parcialmente, la superficie de la soldadura (esto es aplicable no solamente a la soldadura terminada, sino a todas las etapas del proceso que se deseen inspeccionar). La limpieza debe efectuarse de manera que no oculte información que puede ser vital, ya que si se hace sin cuidado pueden taparse pequeñas grietas y otros defectos similares, haciéndolos invisibles desde el exterior.

La inspección radiográfica y las pruebas destructivas de tensión se emplean con éxito en el control de la calidad de los empalmes soldados de varillas, pero no constituyen un sustituto aceptable de la supervisión e inspección visuales durante la colocación de la soldadura y demás operaciones relacionadas con ella, efectuadas a través de todo el proceso.

Esos métodos son especialmente convenientes para determinar la calidad final de algunos empalmes, escogidos de manera que sean representativos del resto, lo que permite comprobar si por medio de la inspección visual se han obtenido los resultados deseados. Por consiguiente, la radiografía y las pruebas destructivas no deben emplearse nunca aisladamente, sino como un complemento de la inspección visual y del control mantenidos a través de todas las etapas.

Para que la utilidad de la supervisión sea máxima, debe llevarse un control de las uniones efectuadas por cada operario, de manera que sea posible señalarle a cada uno de ellos los errores que haya cometido.

## 14.2 Secuencia detallada del proceso de inspección

### 14.2.1 Aspectos generales

El inspector debe asegurarse de que todos los pasos necesarios para la obtención de los empalmes soldados se lleven a cabo de

acuerdo con estas recomendaciones. Para ello se le proporcionarán planos en los que se muestre el tamaño, longitud, tipo y colocación de todas las soldaduras, y se le notificará, por adelantado y con tiempo suficiente, cuándo se piensa iniciar cada una de las etapas del armado de la estructura.

### 14.2.2 Inspección de materiales

El inspector debe asegurarse de que todos los materiales utilizados (varillas, electrodos, placas de respaldo, etc) cumplan los requisitos impuestos por estas recomendaciones y por los planos y especificaciones de construcción.

### 14.2.3 Inspección del equipo y de los procedimientos de soldado

El inspector revisará el equipo que se va a utilizar para hacer las soldaduras de la obra, con objeto de cerciorarse de que está en condiciones adecuadas de operación. Revisará también los tipos de juntas que se van a emplear y los procedimientos para efectuarlas, los que deberán estar de acuerdo con estas recomendaciones.

### 14.2.4 Inspección de las calificaciones de los operarios

Las operaciones de soldado serán desempeñadas únicamente por personal calificado. El inspector presenciará las pruebas de calificación de cada uno de los operarios, o comprobará que cada uno de ellos ha demostrado su capacidad previamente, bajo otra supervisión aceptable.

El inspector puede pedir la recalificación de un operario cualquiera si su trabajo es de calidad inferior a la requerida por estas recomendaciones, o si ha dejado de trabajar durante más de tres meses en el proceso para el que está calificado.

### 14.2.5 Inspección del trabajo

Durante la colocación y soldado de las varillas de refuerzo de la estructura, y antes de que se autorice el colado del concreto, el inspector debe asegurarse de que se satisfacen los puntos siguientes:

- a) Las holguras, biseles, alineaciones, etc, son los indicados en estas recomendaciones para cada tipo de junta.
- b) Los tamaños, longitudes y posiciones de todas las soldaduras cumplen las condiciones impuestas por estas recomendaciones y por las especificaciones y planos de construcción.

c) No se ha suprimido ni añadido ninguna soldadura sin la debida aprobación

d) Solamente se estan empleando procedimientos aceptados por estas recomendaciones

e) Los electrodos se estan utilizando únicamente en las posiciones y con el tipo de corriente y polaridad para los que están especificados

f) Los operarios utilizan las técnicas adecuadas

g) Todas las soldaduras terminadas tienen características correctas, para cerciorarse de que se cumple este punto, el inspector debe medir el tamaño y el contorno de las soldaduras con dispositivos adecuados, y llevar a cabo una inspección visual cuidadosa, con ayuda de lentes de aumento, iluminación adecuada o cualquier otro elemento que le pueda ser útil.

h) Durante los trabajos de supervisión, el inspector identificará con marcas fácilmente visibles todas las partes o juntas que requieran correcciones o sustitución, y volverá a marcarlas cuando las haya aceptado

#### 14.2.6 Obligaciones del contratista

El contratista satisfará todas las indicaciones que le haga el inspector para corregir una mano de obra inadecuada, y reparar y sustituir todas las soldaduras que no cumplan los requisitos de estas recomendaciones o de los planos y especificaciones de construcción.

Si una soldadura defectuosa o las operaciones llevadas a cabo para removerla dañan las varillas de tal manera que dejen de ser capaces de desempeñar eficientemente su papel dentro de la estructura, el contratista deberá sustituir el material dañado o compensar sus deficiencias siguiendo algún procedimiento autorizado.

#### 14.2.7 Inspección radiográfica

Cuando se desee complementar la inspección visual por medio de radiografías, en los planos y especificaciones de construcción se indicará el número o porcentaje de juntas que deberán radiografiarse, pero no se señalará su posición; el inspector escogerá las uniones en las que se tomarán las radiografías.

En estructuras especiales, o en zonas críticas de estructuras ordinarias, puede especificarse que se radiografie un porcentaje elevado, o aun la totalidad, de las uniones soldadas a tope,

pero en general no se tomarán radiografías de más de un diez o quince por ciento de las juntas

#### 14.2.8 Pruebas destructivas

Las radiografías sancionan en general la sanidad de las juntas a tope entre varillas, pero no garantizan que su comportamiento bajo carga será satisfactorio, ya que no proporcionan ninguna información sobre posibles cambios desfavorables en la estructura cristalina del acero debidos, fundamentalmente, a ciclos térmicos inadecuados originados por el proceso de colocación de la soldadura o por el enfriamiento posterior hasta la temperatura ambiente, además, con cierta frecuencia se forman microfisuras en planos paralelos a la superficie de los biseles, las que no quedan registradas en las placas radiograficas, a causa de su orientación.

Todo esto ocasiona que, para terminar la inspección de las uniones soldadas en las varillas de refuerzo de una obra, y para llevar un control de calidad completo, sea necesario remover de la obra un cierto número de juntas y someterlas a pruebas de tensión, hasta la ruptura, en una máquina de ensaye, estas pruebas pueden complementarse con estudios metalograficos

La obtención de los especímenes para las pruebas destructivas de tensión debe llevarse a cabo en forma continua durante todo el proceso de construcción, y no debe autorizarse ningún colado sin que se conozcan previamente los resultados obtenidos en las pruebas efectuadas en juntas de la zona que se desee colar.

Se considerarán inaceptables todas las uniones en las que la fractura se presente en la soldadura, o en la zona inmediata a ella, bajo una carga menor que la correspondiente al 125 por ciento del esfuerzo de fluencia de la varilla o al ciento por ciento de su resistencia a la tensión, según las especificaciones generales que se estén utilizando, o cuando la fractura se presente bajo una carga mayor, pero la ductilidad del espécimen, medida en porcentaje de la longitud inicial y correspondiente a la fractura, disminuya a menos de los dos tercios de la especificada para la varilla, o a menos del cuatro por ciento

Los especímenes deben ser representativos de la totalidad de las juntas efectuadas en la obra, y se escogen de las uniones que, de acuerdo con la inspección visual, tienen más probabilidades de resultar defectuosas. En esas condiciones suele ser suficiente un número de pruebas destructivas comprendido entre el cinco y diez por ciento del total de las uniones, aunque en casos especiales puede ser recomendable ensayar un porcentaje más elevado.

## 15. REFERENCIAS

1. "Recommended Practices for Welding Reinforcing Steel, Metal Inserts and Connections in Reinforced Concrete Construction", AWS D12.1-61, *American Welding Society*, Nueva York (1961)
2. J. F. Rudy, F. Suyama y H. Schwartzbart, "Welding of Reinforcing Bars for Concrete Construction", *Welding Journal* (ago 1959)
3. "Reinforcing Bar Splices", *Concrete Reinforcing Steel Institute (CRSI)*, Chicago, Ill. (1968)
4. Proposed Revision of ACI 318-63, "Building Code Requirements for Reinforced Concrete", *ACI Journal, American Concrete Institute*, Detroit, Michigan (feb 1970)
5. "Code for Welding in Building Construction", AWS D1.0-69, *American Welding Society*, Nueva York (1969)
6. "Specifications for Welded Highway and Railway Bridges", AWS D2.0-69, *American Welding Society*, Nueva York (1969)
7. "Welding Inspection", *American Welding Society*, Nueva York (1968)
8. "Welding Handbook" (Sec. 1, 6a Ed., 1968; Sec. 2, 6a Ed., 1969; Sec. 5, 5a Ed., 1967), *American Welding Society*, Nueva York
9. A. Zaldívar Toro, "Instructivo para soldar varillas a tope", Dirección General de Laboratorios y Control de Calidad, SOP, México, D. F.
10. L. Balcázar Padilla, y A. Zaldívar Toro, "La importancia de la soldadura en el Acero de Refuerzo", trabajo presentado en el VIII Congreso Nacional de Ingeniería Civil, México, D. F. (sep 1970)
11. F. Robles Fernández, "Concreto Reforzado", Sec. H, Manual de diseño de obras civiles, CFE, México, D. F. (1969)
12. De Buen, O., "Estructuras de acero", Sec. I, *Manual de Diseño de Obras Civiles*, CFE, México, D. F. (1969)

MAESTRIA : MAESTRIA EN INGENIERIA ELECTRONICA

ESPECIALIDAD : DISEÑO DE SISTEMAS DIGITALES Y

MICROPROCESADORES

FECHA DE EXAMEN PROFESIONAL : 24 / IV / 85

N° DE CEDULA PROFESIONAL : 991930

EXPERIENCIA PROFESIONAL

DOCENTE :

HE IMPARTIDO LOS CURSOS DE :

- »»» ELECTRONICA BASICA
- »»» DISPOSITIVOS ELECTRONICOS
- »»» AMPLIFICACION DE SEÑALES
- »»» ELECTRONICA INDUSTRIAL

LOS LABORATORIOS DE :

- »»» ELECTRONICA BASICA
- »»» DISEÑO LOGICO
- »»» DISPOSITIVOS ELECTRONICOS
- »»» AMPLIFICACION DE SEÑALES
- »»» ELECTRONICA INDUSTRIAL

## A) CLASIFICACION DE ELECTRODOS

Debido a que en nuestro país no se tienen normas propias para la soldadura de fierro y acero, ha sido necesario integrar las presentes tomando las normas americanas A. W. S. (SOCIEDAD AMERICANA DE SOLDADURA) que son las más difundidas en México, se consultaron las normas A. S. T. M. (SOCIEDAD AMERICANA DE PRUEBA DE MATERIALES; Las especificaciones D. I. N. (DEUTSCHE INDUSTRIE NORM) El manual S. O. P. (SECRETARIA DE OBRAS PUBLICAS) A. S. M. E.; S. A.; A. P. I.

Desde luego no será posible exponer todo hasta el último detalle de cada una de las normas. En algunos casos será necesario consultar las publicaciones originales.

### NORMA A. W. S.

En lo referente a electrodos para fierro y acero se aplican dos normas; una de ellas para fierro dulce no aleado y la otra para aceros de baja aleación.

1a.- La norma A. W. S. 5. 1.- 64T equivalente a la A.S.T.M. A233-64 (W mild steel covered arc - Welding electrodes") se refiere a los electrodos, más usados, incluyendo los de bajo hidrógeno, siempre y cuando no tengan ningún aleante en especial.

2.- La norma A.W.S. A5.5-64T equivalente a las A.S.T.M. A316-64T ("Low alloy steel covered arc - Welding electrodes").

Ambas normas se componen de cuatro ó cinco cifras que indican el tipo de electrodo, su uso, sus aplicaciones en posición y algunos datos más.

En el caso de electrodos para aceros aleados según A. W. S. se agrega un índice ( letra y número ) que da la clave para el tipo de aleante principal. Lo más sobresaliente es que las dos primeras cifras, ( y en caso de numeración de cinco cifras, las tres primeras ) indican la resistencia mínima en miles de libras por pulgada cuadrada que está garantizada en el material depositado.

## 9.- SOLDADURA ELECTRICA

### DEFINICION

Es el proceso mediante el cual se unen dos ó más elementos por función generado por un arco eléctrico y con material de aportación.

Siendo bastante extensa la aplicación de este proceso y habiéndose - escrito gran cantidad de volúmenes, hemos tratado de generalizar sus normas con el objeto de lograr su fácil y rápida aplicación a nuestros problemas .

El presente capítulo se ha dividido en los siguientes incisos.

- A) CLASIFICACION DE ELECTRODOS
- B) SIMBOLOS DE SOLDADURA
- C) COMPORTAMIENTO DE LOS MATERIALES
- D) EFECTOS DEL VOLTAJE Y AMPERAJE
- E) PREPARACION DE LOS MATERIALES
- F) SOLDADURAS DE TOPE
- G) SOLDADURAS DE FILETE
- H) DEFECTOS DE LAS SOLDADURAS.

NORMAS PARA ELECTRODOS NO ALEADOS  
A. W. S. 5.1.- 64T

En la siguiente tabla aparecen las características más importantes de este tipo de electrodos. Conviene hacer notar para el uso de esta tabla, que la polaridad directa es con el electrodo al polo negativo, y la invertida (indirecta) con el electrodo al polo positivo.

Otra cosa importante es que para una aplicación satisfactoria en posición vertical, de ninguna manera incluye que el electrodo en cuestión se pueda soldar en dirección descendente. Cuple plenamente con los requisitos de la norma A. W. S. un electrodo que permite soldar en dirección de abajo hacia arriba.

TABLA No. 1

SERIE E- 60 CON RESISTENCIA MINIMA DE 60,000 L.B./PULG.<sup>2</sup>

CLASIFICACION A.W.S.	TIPO DE REVESTIMIENTO	POSICION DE APLICACION	CORRIENTE	POLARIDAD
E - 6010	CELULOSICO SODICO	PLANA-VERT. HORIZ.-S.CAB	DIRECTA	INVERT.
E - 6011	CELULOSICO POT. O SODIO POT.	IGUAL AL - 6010	ALTERNA DIRECTA	INVERT.
E - 6012	TITANIO/SODIO SODIO/POTASIO	IGUAL 6010	DIRECTA	AMBAS
E - 6013	TITANIO/POTASIO	IGUAL 6010	AMBAS	AMBAS
E - 6020	OX. FIERRO	PLANA-VERT.	AMBAS	AMBAS
E - 6030	OX. FIERRO POLVO FIERRO	PLANA-VERT.	AMBAS	AMBAS

SERIE E -70 CON RESISTENCIA MINIMA DE 70,000 L.B./PULG.<sup>2</sup>

E - 7014	TITANIO POLV. FE	IGUAL 6010	AMBAS	AMBAS
E - 7015	BAJO HIDROG.SODIO	IGUAL 6010	DIRECTA	INVERT.
E - 7016	BAJO HIDROG. POT.	IGUAL 6010	AMBAS	INVERT.
E - 7018	BAJO HIDROG. POLVO DE FIERRO	IGUAL 6010	AMBAS	INVERT.
E - 7024	POLVO FE.- TITANIO	PLANA- HORIZ.	AMBAS	AMBAS
E - 7028	BAJA HIDROGENO POLVO DE FIERRO	PLANA- HORIZ.	AMBAS	INVERT.



Parte de los datos de la tabla No. 1 que es para facilitar la selección del electrodo y que más bien tiene carácter informativo sin ser de aplicación rigurosa (excepto cuando lo especifique el cliente) si existen requisitos que se refieren a la calidad del material depositado y estos datos pueden observarse en la siguiente tabla.

REQUISITOS DE CALIDAD							
TIPO DE ELECTRODO	RESISTEN. LBS/PULG.	RESISTENCIA KG/cm.	LIMITE ELAST.	ALAR M. %	IMPAC KPM/ cm.	TEMP. PRUE	CALIDAD IOS
E - 6010 *	62,000		50,000	22	3.5	-30°C	
E - 6011 *	62,000		50,000	22	3.5	-30°C	II
E - 6012 *	67,000		55,000	17			
E - 6013 *	67,000		55,000	17			II
E - 6020 *	62,000		50,000	25			I
E - 6027 *	62,000		50,000	25	3.5	-30°C	II
E - 7014	72,000		60,000	17			I
E - 7015	72,000		60,000	22	3.5	-30°C	I
E - 7016	72,000		60,000	22	3.5	-30°C	I
E - 7018	72,000		60,000	22	3.5	-30°C	I
E - 7024	72,000		60,000	17			II
E - 7028	72,000		60,000	22	3.5	-30°C	I

TABLA No. 2

## NOTA:

Las pruebas de impacto se efectúan a Temp. bajo 0°C.  
La calidad de radiografía "I" significa un máximo de 15 poros de 1.5 mm. en cada 6" de depósito.

La calidad de radiografía "II" significa un máximo de 10 poros de 1/16" hasta 5/64" en cada 6" de depósito.

Los electrodos con asterisco no tienen especificación química. El % máximo de análisis químico para los que no tienen asterisco es: Manganeso 1.25; Silicio 0.90; Cromo 0.20; Niquel 0.30.

La norma A.W. S. especifica además que los electrodos de 3/32" ó 1/8 no requieren pruebas físicas siempre que las demás medidas estén aprobadas y cumplan con los datos requeridos.

La razón es que los electrodos delgados siempre proporcionan datos físicos de mejor calidad por un fenómeno metalúrgico llamado "REFINACION DEL GRANO" y además es de suponerse que los electrodos de 3/32" serán usados en láminas delgadas y trabajos donde la resistencia es de una importancia secundaria.

Todos los datos mencionados se refieren al material depositado puro y en su estado tal y como se ha depositado. Este detalle si es de mucha importancia por que un tratamiento térmico posterior muy usual y riguroso como son los calentamientos -- que se hacen soportar a las piezas para enderezar puede alterar por completo las características del metal depositado.

Si se observan las características y datos físicos de los diferentes electrodos no encuentra una diferencias notables entre un tipo de electrodo y otro. Lo que pasa es que la norma A.W.S. y A. S. T M. no se prestan mucho para diferenciar en detalle a un electrodo de otro. La diferencia principal la encuentra uno en la aplicación, la forma de soldar, y también en datos físicos, como el bajo contenido de hidrogeno, que no se reflejan muy claramente en estas normas.

Se recomienda entonces que cuando sea necesario seleccionar un electrodo en especial para determinado trabajo se consulten las guías del fabricante de electrodos.

Es muy importante saber que los números que se toman en cuenta para definir la resistencia a la tracción no solo definen esta, ya que si se consulta el standar A. W. S. se obtienen datos como su resistencia al impacto, su alargamiento, su límite elástico, etc. etc.

Los significados de la numeración A W. S. tomando como ejemplo una soldadura que conste de cuatro cifras, son los siguientes:

## E - 6010

E = Soldadura eléctrica ( al arco)

60 = Resistencia mínima a la tracción.

1 = Posibilidad de aplicación.

0 = Tipo de penetración de la soldadura.

Los dos primeros números multiplicados por mil nos dan la resistencia de la soldadura.

El significado del penúltimo número nos indica la posición en que se puede soldar, como hay varias posiciones habrá varios números que deberán interpretarse de la siguiente forma:

- "1" Para toda posición.
- "2" Sólo para posición horizontal y plana.
- "3" Sólo soldable en posición plana.

El significado del último número nos indica la penetración. El tipo de corriente y la polaridad, también en este caso se encontrarán diferentes cifras las cuales deberán interpretarse como sigue:

ULTIMO NUMERO	PENETRACION O REVESTIMIENTO	TIPO DE CORRIENTE	TIPO DE POLARIDAD
0	ALTA PENETRACION	CONTINUA	INVERTIDA
1	ALTA PENETRACION	AMBAS	INVERTIDA
2	MEDIA PENETRACION	AMBAS	DIRECTA
3	LIGERA PENET.	AMBAS	DIRECTA
4	MEDIA PENET.		
5	BAJO HIDROGENO	CONTINUA	INVERTIDA
6	BAJO HIDROGENO	CONTINUA	INVERTIDA
7	BAJO HIDROGENO	CONTINUA	INVERTIDA
8	C/POLVO HIERRO	CONTINUA	

En ocasiones además de las cuatro cifras que hemos mencionado hay otras cifras con letras adicionales que indican su contenido de aleaciones y se deben interpretar:

NUM. Y LETRA	SIGNIFICADO
A1	CONTIENE MOLIBDENO
B1 al B4	CONTIENE MOLIBDENO
C1 al C3	CONTIENE NIQUEL
D1 y D2	CONTIENE MANGANESO= MOLIBDENO
G	ELECTRODOS NO CLASIFICADOS
M	CLASIFICACION MILITAR ( GENERALMENTE PARA SOLDAR ACEROS DE GRANO FINO Y EXTRAFINO)

Todos los electrodos que tengan recubrimiento de bajo hidrogeno se secarán en hornos a una temperatura de 232°C a 260°C por lo menos en un lapso no menor de 2 horas.

Los electrodos se pueden almacenar una vez retirados de los hornos, pero con la condición que el lugar de almacenamiento no tenga una temperatura menor de 121°C.

Los electrodos que no se usen durante un término de 4 horas después de haberlos retirado de un horno de secado ó de almacenamiento deberán ser secados en los hornos antes de usarse.

No deberán usarse electrodos que se hayan mojado.

TIPO DE SOLDADURA		RANURA DE LAS PIEZAS					TAPONADO	SOLDADURA DE CAMPO	SOLDADURA ALREDEDOR	ENRASADO
CORDON	CHAFLAN	RECT.	V	BISEL	U	J	RA	PO	DEDOR	DO
LOCALIZACION DE SOLDADURAS										
LADO MAS CERCANO		LADO MAS LEJANO				AMBOS LADOS				
Vease Nota No.5.	Soldadura de Campo.	Angulo abarcado				Dimensión	Dimensión	Sueldese al rededor		
Enrase Dimensión	Dimensión	Separación en la raíz-dimensión				Vease - Nta. No 5	Desplazese si va alter nada.	Pano de los cordones		

NOTAS:

1.- El lado de la junta para el cual señala la flecha es el lado más cercano y el lado opuesto a este es el más lejano.

2.- Las soldaduras del lado más cercano y del lado más lejano se harán del mismo tamaño a menos que se indique de otra manera.

3.- Los simbolos se aplican: Entre dos cambios bruzcos en la dirección de la soldadura ó en la extensión de la indicación de soldadura por medio de un sombreado, ó todo a lo largo de la línea, en donde se marcan las dimensiones excepto cuando se usa el símbolo de todo alrededor.

4.- Todas las soldaduras serán continuas y de las dimensiones que se hayan aceptado. Si no se indica de otra manera.

5.- La cola de la flecha se usa para anotar especificaciones ó cualquier otra referencia (se puede omitir cuando no se hace ninguna referencia)

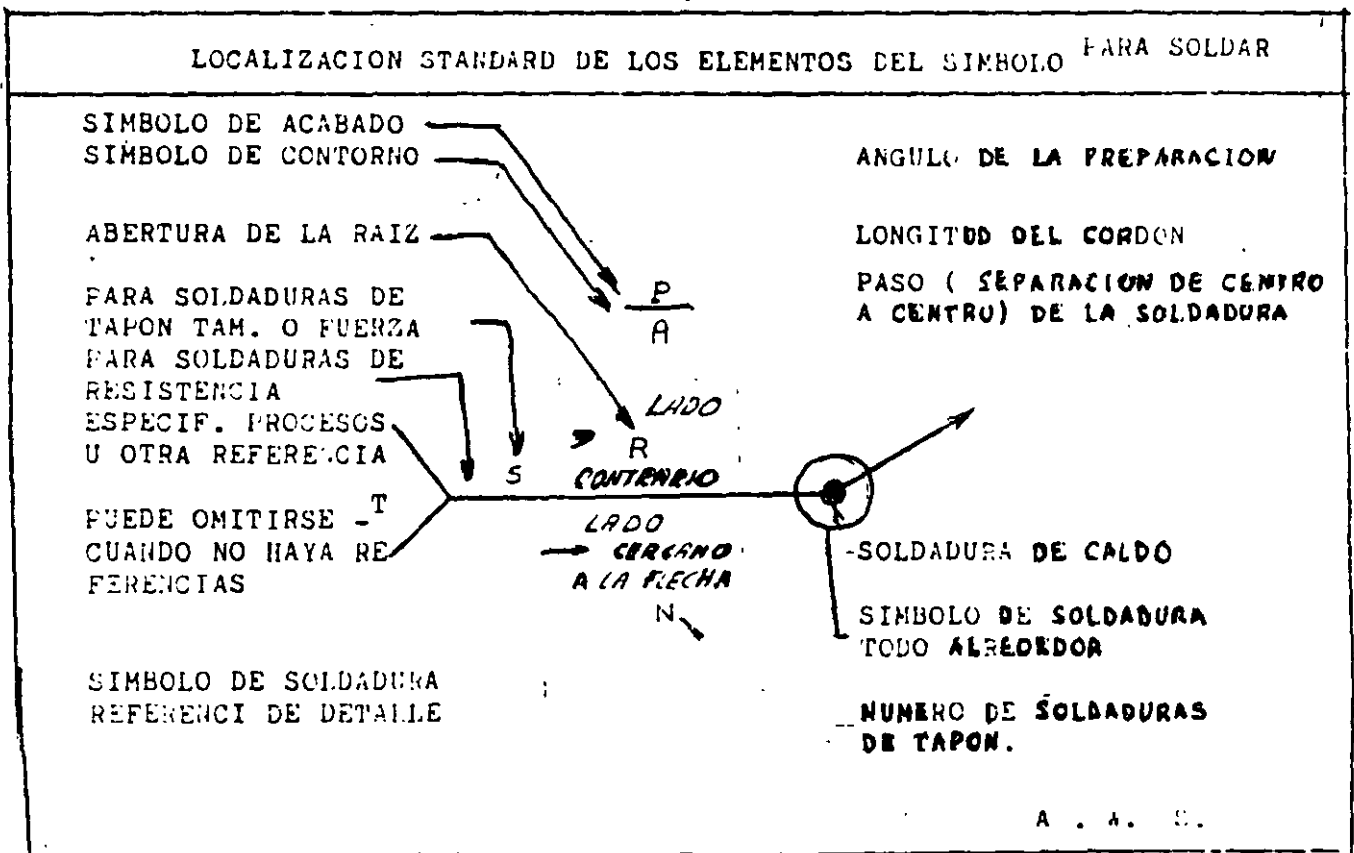
6.- Cuando se usa el símbolo para soldadura en ranura, bisel ó en V. la flecha deberá indicar con un quiebre bien marcado hacia la pieza que será biselada. (En los casos en que claramente se ve cual es la pieza por biselar, puede omitirse el quiebre de la flecha.)

7.- Las dimensiones de las soldaduras, de los incrementos y de los espaciamentos se indicarán en milímetros.

8.- Para instrucciones más detalladas en el uso de estos símbolos, recurrirse al manual de soldadura A. W. S.

Con el objeto de hacer comprensibles los símbolos de soldadura a cualquier nivel, se tratará de determinar todos los elementos que intervienen en dicha simbología y se pondrán ejemplos esquemáticos para lograr nuestro objetivo.

El símbolo básico es una flecha sobre la cual se habrán de colocar otros símbolos y todos los datos necesarios para la realización íntegra del proceso.



La flecha está formada de tres partes principales que son:

**PUNTA**



**CUERPO**



**COLA**

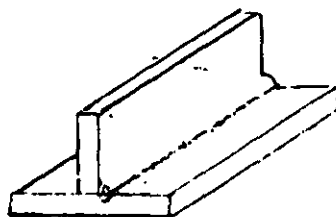
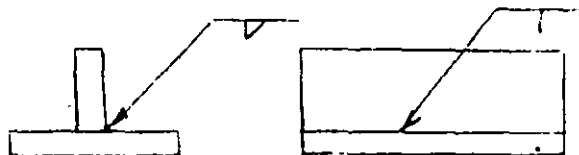
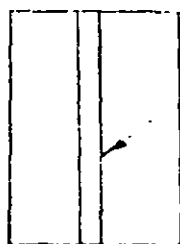


Generalmente todas las referencias de soldadura se dibujan en el cuerpo de la flecha.

La punta de la flecha señala donde se efectuará una soldadura; pero el lugar exacto queda determinado dependiendo de la posición del símbolo en el cuerpo de la flecha de acuerdo con las siguientes condiciones:

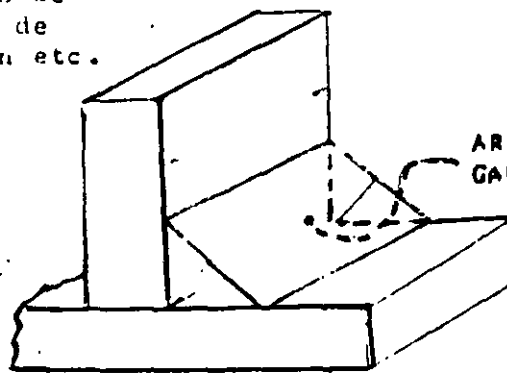
1.- La soldadura que se desea realizar en el lado más cercano a la punta de la flecha, se indicará colocando el símbolo de soldadura debajo del cuerpo de la flecha.

EJEMPLOS



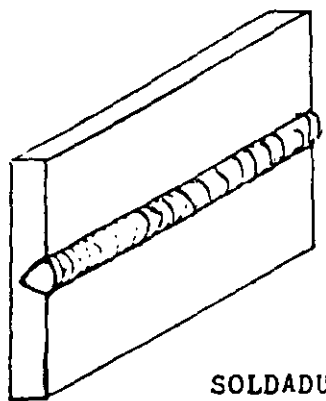
SOLDADURA DESEADA

Nomenclatura en cordones de filete llamados también de esquina, en T. de rincón etc.

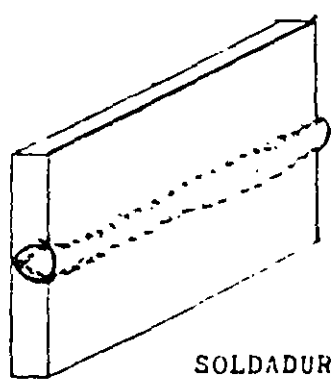
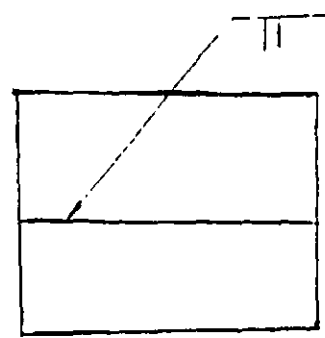
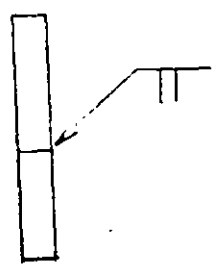


AREA DE LA GARGANTA

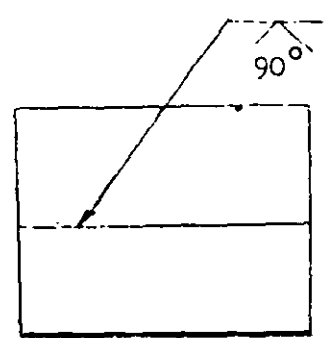
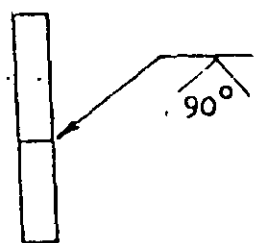
GARGANTA



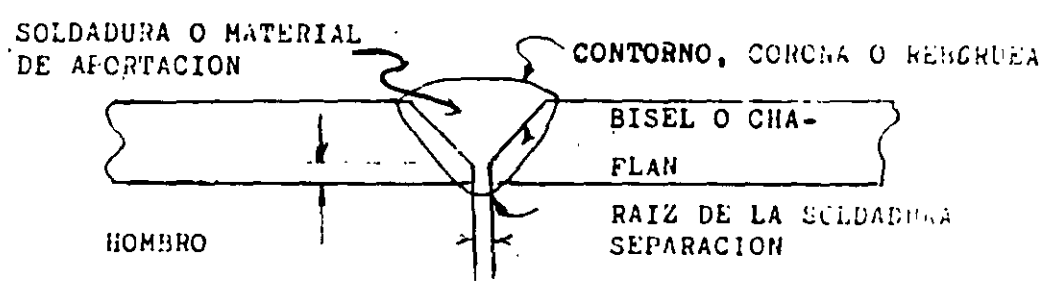
SOLDADURA DESEADA



SOLDADURA DESEADA



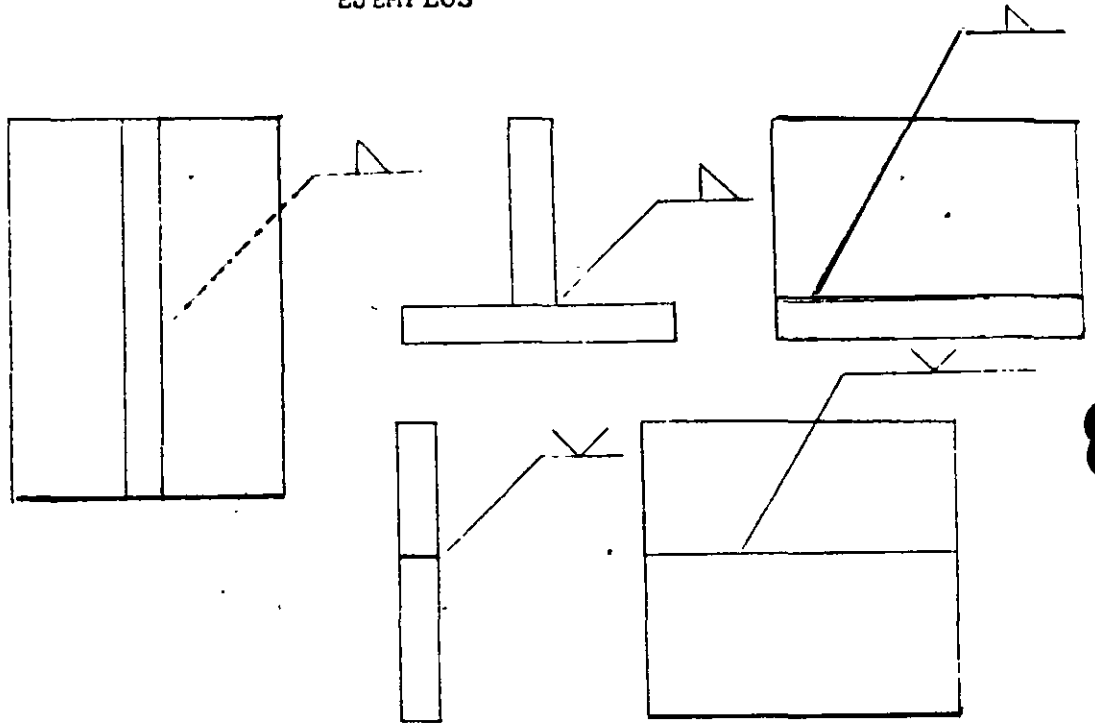
NOMENCLATURA



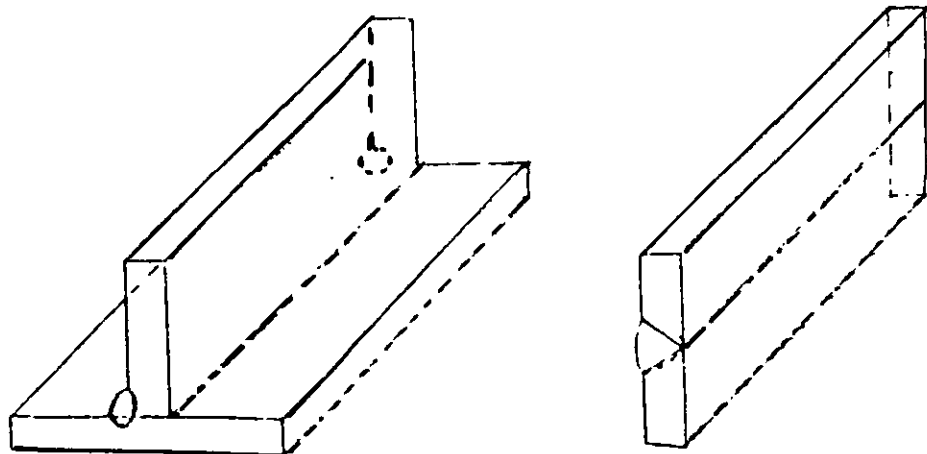


2.- Las soldaduras que se deseen realizar del lado opuesto donde señala la punta de la flecha, se indicarán colocando el símbolo de la soldadura arriba del cuerpo de la flecha.

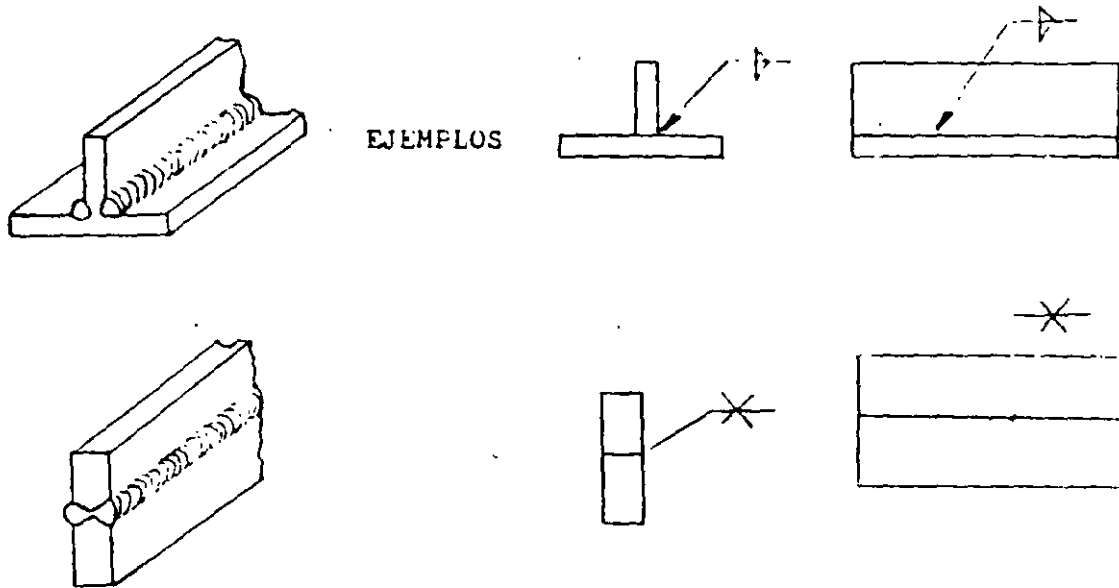
EJEMPLOS



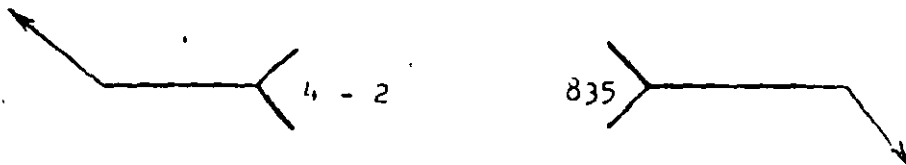
SOLDADURAS DESEADAS.



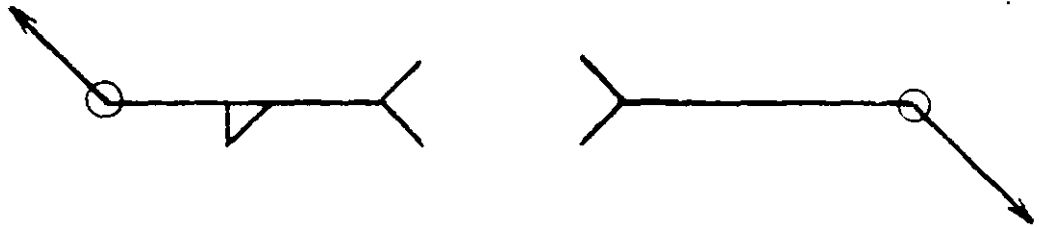
3.- Para soldaduras en ambos lados de la junta, deberán colocarse los símbolos de la soldadura arriba y abajo del cuerpo de la flecha.



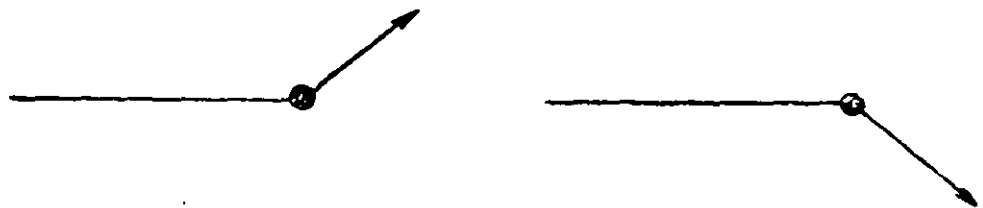
4.- Las referencias, especificaciones, procesos, etc., - deberán anotarse en la cola de la flecha, sin embargo generalmente se omite, como en los ejemplos que hemos dado.



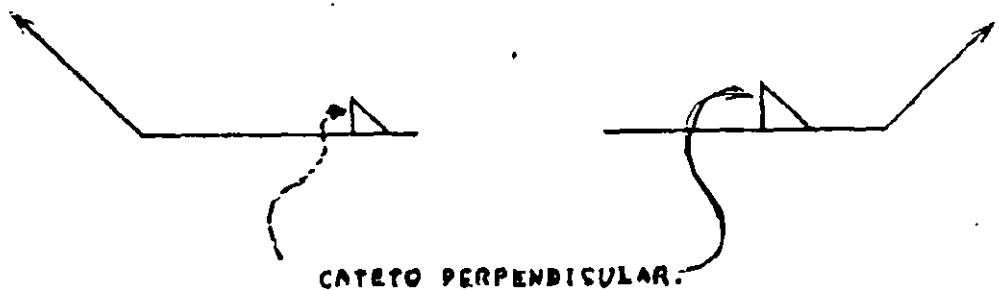
5.- Las soldaduras que se extienden completamente alrededor de una junta deben indicarse en el quiebre de la flecha como se indica en el siguiente ejemplo:



6.- Las soldaduras de campo (soldaduras que no se hacen en el taller) deberán indicarse por medio de un círculo negro anotado en el quiebre de la flecha:

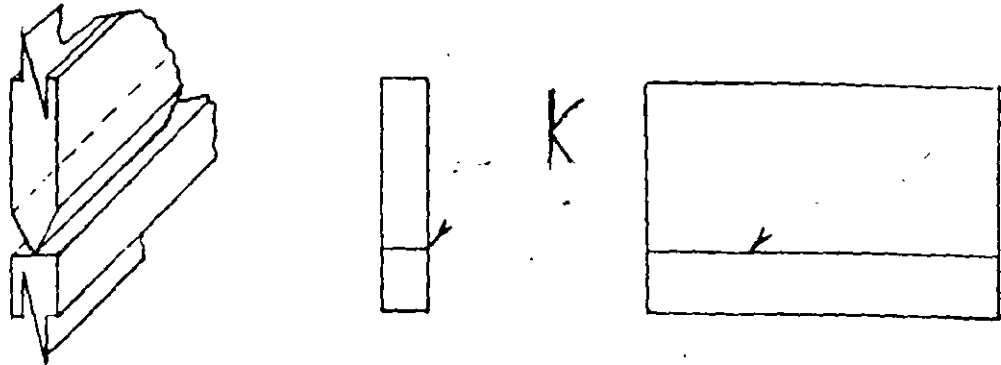


7.- En el caso de soldaduras de filete bisel ó "J" simple, el símbolo de la soldadura debe colocarse siempre en el cateto perpendicular al cuerpo de la flecha en el lado izquierdo.

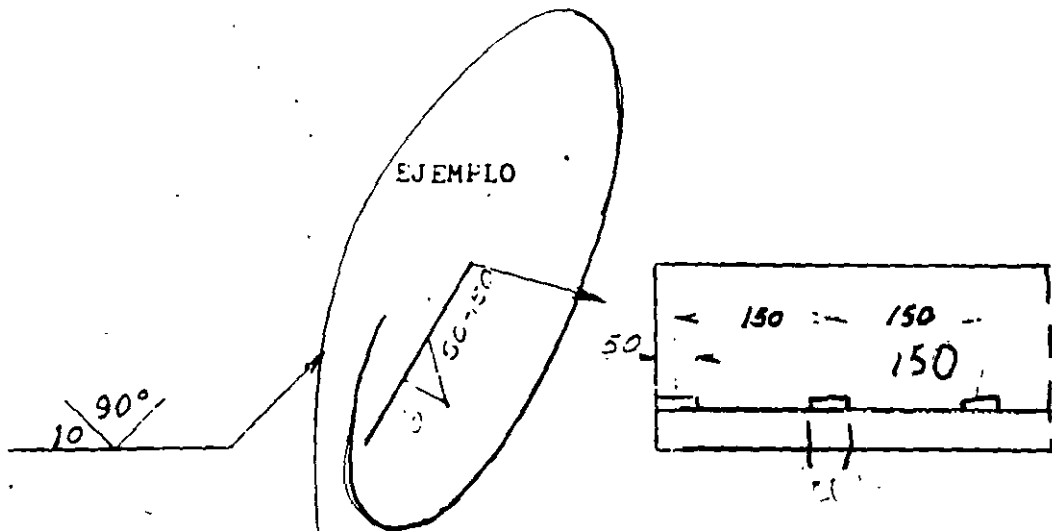


CATETO PERPENDICULAR.

8.- Cuando se indiquen soldaduras a tope con preparación en bisel ó en V en un solo miembro, se cuidará que la punta de la flecha indique claramente el miembro que deberá biselarse, mediante el uso de quiebes como se ilustra a continuación.

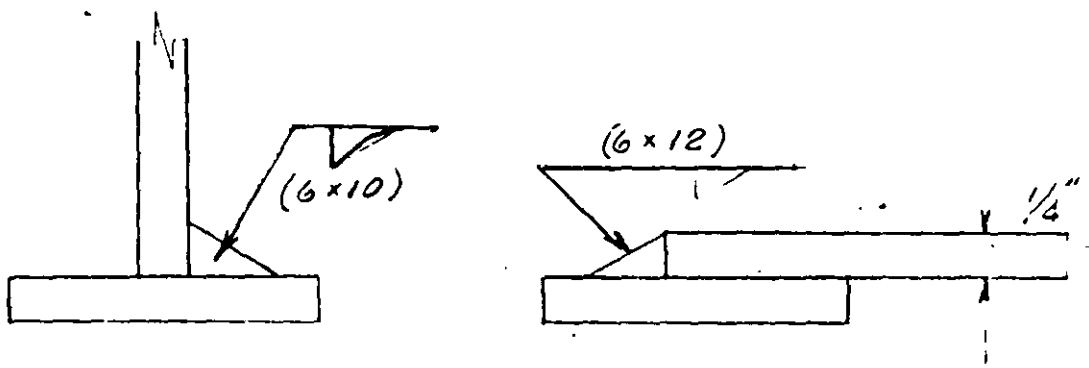


9.- Toda la información correspondiente, deberá consignarse para ser leída de izquierda a derecha y en el orden conveniente según dibujo de la pag.

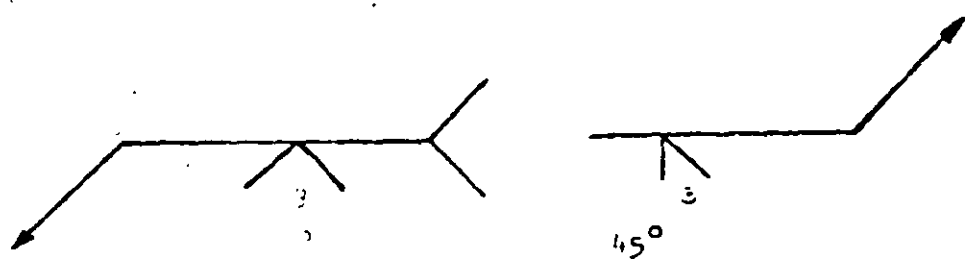


En las soldaduras de filete. Las dimensiones del cordón deberán anotarse a la izquierda del símbolo; cuando sea necesario anotar también la longitud deberá hacerse a la derecha del símbolo.

10.- En casos especiales como lo son las soldaduras con c. tetos desiguales, el tamaño se anotará entre parentesis a la izquierda del símbolo. Respecto a la orientación del filete, las indicaciones se harán sobre el dibujo directamente, Ejemplo:



11.- En el caso de soldaduras a tope con preparación, en lo que se refiere a tamaño, longitud de la soldadura ver las instrucciones del inciso No. 9: en lo referente a la abertura ó separación de la raíz y el ángulo de la preparación deberán anotarse dentro del símbolo de soldadura como se indica a continuación.



### C).- COMPORTAMIENTO DE LOS MATERIALES

Para que se tenga una ligera idea del comportamiento de los aceros al ser soldados, es necesario conocer los efectos de los elementos más comunes de la susodicha soldabilidad.

#### I.- CARBONO

Es el más potente endurecedor. Si el contenido del carbono es alto (más de 0.25%) en un descenso rápido de la temperatura de la soldadura, puede endurecer y tener fuerte tendencia a la fractura. Si se incrementa el contenido de carbono (arriba de 1.2%) se aumenta la resistencia a la tensión pero se sacrifica la soldabilidad. En general podemos decir que el contenido de carbono debe mantenerse tan bajo como sea posible para obtener optimos resultados al soldar.

#### II.- SILICIO

Es adicionado al acero para producir solidez. Cuando se usa en grandes porcentajes (junto con porcentajes altos de Manganeso) se incrementa la resistencia a la tensión. Junto con contenido alto de carbono se predispone más a la fractura.

#### III.- MANGANESO

Incrementar la dureza y la resistencia a la tensión y arriba de 0.60% (con alto contenido de carbono) crece su posibilidad a la porosidad y a la fractura. El manganeso entre el 0.20% y 0.30% y azútre arriba de 0.034% dan un acero frágil y fácil de fracturarse.

#### IV.- AZUFRE

Deberá mantenerse abajo de 0.035% y como máximo 0.05% arriba de estos porcentajes se incrementa el efecto quebradizo en caliente con lo cual la soldadura depositada tiende a fracturarse.

#### V.- FOSFORO

Es clasificado generalmente como una impureza que dificulta grandemente las operaciones de soldadura y por lo tanto deberá mantenerse tan bajo como sea posible. Arriba de 0.04% tiende a hacer quebradizas las soldaduras, baja la tensión superficial del metal de la soldadura líquida, haciendo más difícil su control. Otros elementos como el nitrógeno, el cromo el molibdeno y el vanadio afectan las características de la soldadura y el principal cambio es un incremento en la dureza.

#### VI.- HIDROGENO

El hidrogeno es causa de diversos fenomenos, algunos de los cuales conducen a defectos que son causa de rechazos, tales como microgrietas internas. También puede dar origen a formación de sopladuras en el metal fundido y produce poros grandes que se conocen con el nombre de "ojos de pescado"

La influencia del hidrogeno en la formación de poros se manifiesta sobre todo con electrodos de revestimiento de elevado potencial de hidrogeno, tales como celulosicos y los que están húmedos no importando que sean de bajo hidrogeno; la atmosfera húmeda puede ser también causa de porosidades.

#### VII.- NITROGENO

La presencia del nitrógeno en los aceros modifica considerablemente sus propiedades mecánicas, aumenta las propiedades de resistencia a la deformación, aumenta su fragilidad, lo torna más duro.

### VIII.- OXIGENO

El efecto del oxígeno absorbido sobre la soldadura varía considerablemente, según que se halle disuelto ó en forma de - - inclusiones.

Disuelto obra directamente sobre las características de resistencia y dureza, las cuales disminuyen considerablemente.

En forma de inclusiones de óxido de hierro ( $FeO$ ) actúa sobre la compacidad de la unión y como consecuencia disminuyen - todas las propiedades mecánicas.

### D.- EFECTOS DEL VOLTAJE Y AMPERAJE

La corriente, voltaje y velocidad con que se desplaza el electrodo, son las variables más importantes en la técnica de la soldadura, depende casi completamente de su selección propia y control; por esta razón el operador deberá conocer como afecta cada variable la acción de la soldadura y cambios que debe hacer si son requeridos.

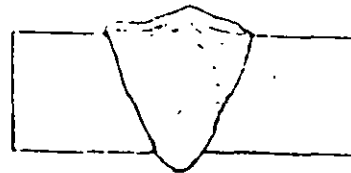
Usando un mismo tipo de junta, material, electrodos y controlando dos de las tres variables se encontraron los siguientes resultados:



VARIANTES MAS IMPORTANTES EN LA TECNICA DE LA SOLDADURA



25% corriente más bajo refuerzo insuficiente y baja penetración



25% corriente más alto; excesivo refuerzo, demasiada penetración



25% voltaje más bajo, resultado: excesivo refuerzo al fondo de la soldadura, tiene fracturas internas por el enfriamiento del centro.



25% de voltaje más alto. Poco refuerzo, excesivo material fundido.



25% velocidad más lenta. Mucho alambre depositado por unidad de longitud, zona de fusión amplia y pobremente formada



25% velocidad más alta. Poco alambre depositado por unidad de longitud. El fondo de la soldadura tiene poco refuerzo.

La corriente, el voltaje del arco y la velocidad de avance en las soldaduras, será tal que en cada pasada, el metal depositado y el metal base adyacente se fundieren completamente, sin que se formen rebordes ni socavaciones indebidos.

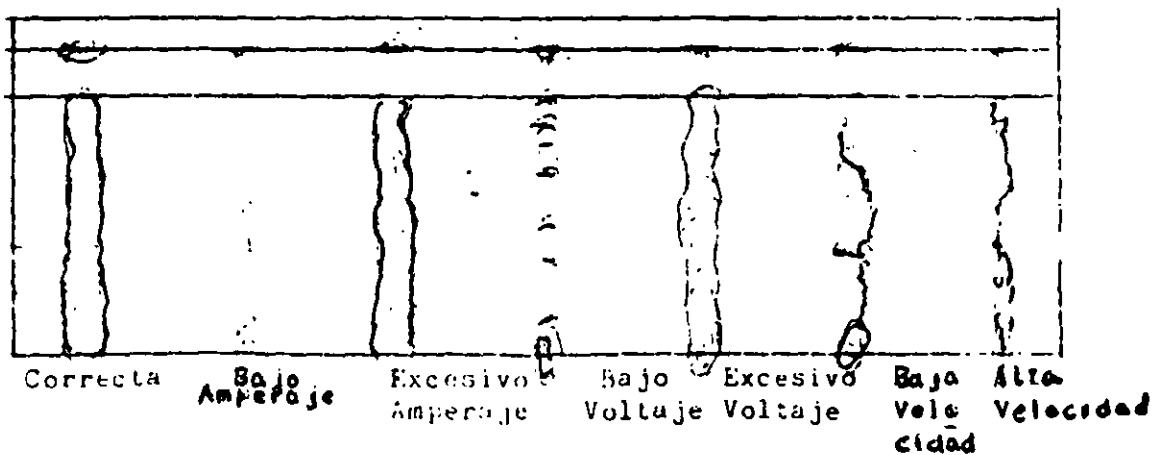
La corriente máxima que se emplee para cualquier pasada que fusione las dos caras de la ranura en una soldadura será de 600 amperes, excepto en las pasadas sobre la superficie del metal base que se podrán hacer empleando corriente mayores.

A continuación se dan las tolerancias de estas variantes:

Corriente para soldar	± 10%
Voltaje de Arco	± 7%
Velocidad de Avance	± 10%

Tanto la profundidad de fusión como el ancho total de fusión en cualquier punto de un solo cordón ó pasada de soldadura, no excederá del ancho de la cara del cordón ó pasada.

APARIENCIA SUPERFICIAL DE LAS SOLDADURAS.



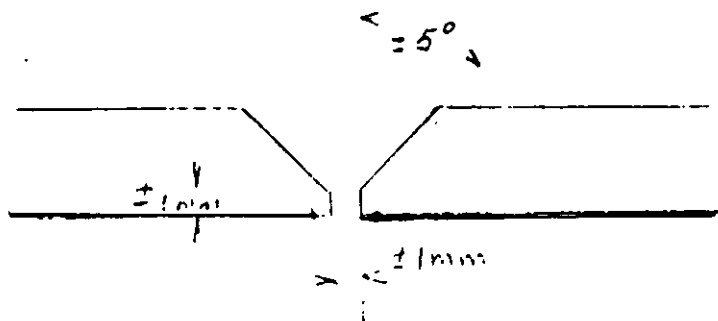
## E.- PREPARACION DE LOS MATERIALES

Las superficies por soldar, deberán estar tersas, uniformes y libres de rebabas, escoria, desgarraduras, melladuras y otros defectos que resten calidad a las soldaduras como óxido grasas, humedad, pintura, etc., ó cualquier otro material que interfiera con la soldadura.

La preparación de las juntas (biseles) deberán hacerse con sopletado mecánicamente y evitar al máximo las melladuras. Se procurará eliminar la escoria y el óxido de las áreas adyacentes a la soldadura de preferencia con esmeril.

Las juntas deberán alinearse cuidadosamente, se permitirá como máximo una discrepancia lateral de 10% del espesor de la pieza más delgada, pero en ningún caso será mayor de 3.2 mm.

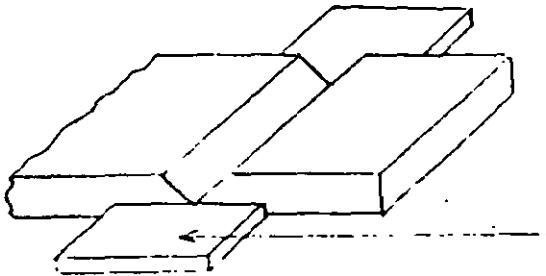
Las juntas biseladas no deberán apartarse de las siguientes tolerancias:



Si en la separación de la base hay placa de respaldo la tolerancia será de  $+ 3, - 1 \text{ mm}$ .

Los puntos de soldadura que han servido para el armado y que vayan a ser incorporados al cordón, deberán estar libres de escoria, óxido ó porosidades y el soldador debe vigilar que se fundan totalmente con la soldadura definitiva.

En juntas a tope con preparación es necesario colocar placas en los extremos de la soldadura para evitar las porosidades causada por electrodos húmedos. Una vez terminada la soldadura quitar estas placas y esmerilar a ras.



Es indispensable:  
Iniciar y terminar el arco,  
siempre en las placas de -  
prolongación de los extre-  
mos.

Todas las soldaduras a tope (excepto aquellas que se hagan con placa de retención) se les quitará la base de la soldadura inicial con arcoaire, cincel neumático ó esmeril, hasta encontrar material sano.

Se deberá tomar en cuenta cuando se indique soldadura en bisel, que está deberá ser de penetración completa en todos los casos; por lo mismo deberá hacerse cuidadosamente los biseles - dejando un hombro máximo de 2 mm. y la separación entre los - - elementos por soldar será de 2 mm. como mínimo.

#### F.- SOLDADURAS A TOPE

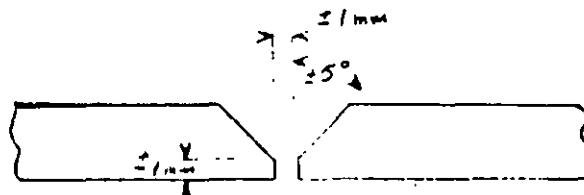
Soldaduras de sección irregular que se aplican sobre piezas que descansan aproximadamente en el mismo plano. En general se diseñan para tener una resistencia igual a la del metal base, - por lo que suele buscarse una penetración completa.

Cuando las piezas por unirse tienen espesor menor de 1/4" - es posible conseguir penetración completa con la única precaución de separar las piezas entre sí, pero no más de 3 mm., y usar -- electrodos de alta penetración ó soldadura automática.

Cuando el espesor de las piezas sobre pase de  $3/8$ " es indispensable una preparación en las orillas de las placas por soldar que permita el acceso de la soldadura; los tipos de -- preparación son variadisimos, nosotros solo mencionaremos "V" simple y Doble "V", esta última se conoce también como preparación en "X".



#### TOLERANCIA EN PREPARACIONES



Los biseles así como los hombros deberán ser tersos, sin melladuras y deberá eliminarse la escoria antes de soldar.

Si en la separación de la base hay placa de respaldo, la tolerancia será  $+ 3 \text{ mm.} - 1 \text{ mm.}$

#### TOLERANCIA EN DESALINEAMIENTO:

En espesores hasta 19 mm. se permite 2 mm. de desalineamiento.

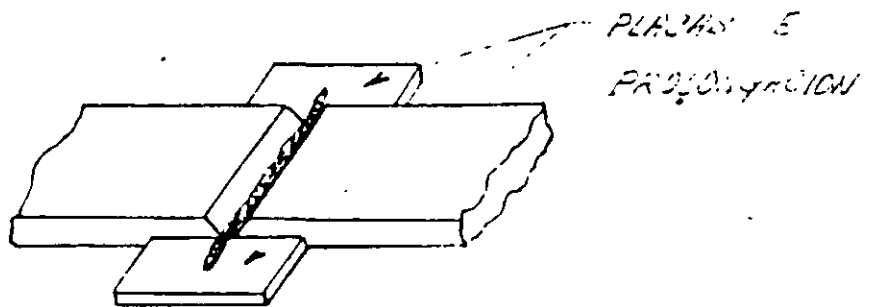
En espesores arriba de 19 mm. se permite 3 mm. de desalineamiento.

I.- Las piezas que vayan a soldarse a tope, deberán alinearse de tal manera que no se tenga una discrepancia lateral máxima igual al 10% del espesor de la parte ó pieza más delgada, -- pero en ningún caso será mayor de 3.2 mm.

II.- Procurar efectuar siempre estas soldaduras en posición plana.

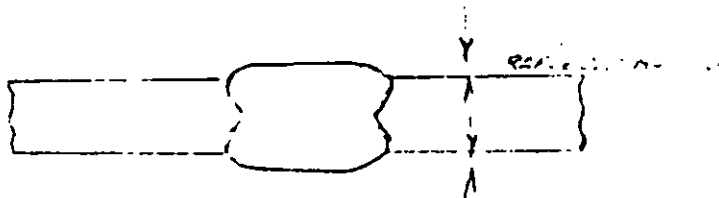
III.- A todas las soldaduras a tope (excepto que se indique otra cosa) se les quitará la base de la soldadura con cincel neumático, esmeril ó arcoaire, hasta encontrar material sano y soldar.

IV.- Todas las soldaduras de ranura, deberán iniciarse y terminarse en placas de prolongación con el objeto de eliminar porosidades por electrodos fríos ó húmedos.



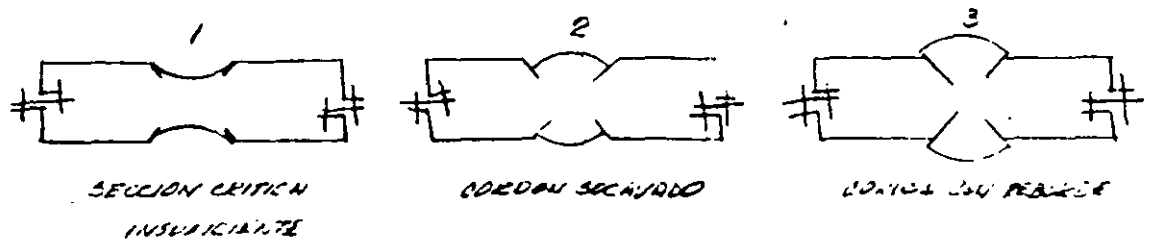
Estas placas deberán quitarse una vez terminada la soldadura, rematar los cantos con soldadura y esmerilar las rebabas que hayan quedado.

V.- Las soldaduras a tope se dejarán con un refuerzo ligero (excepto si se indica otra cosa) cuyas tolerancias varían de acuerdo al espesor del material por soldarse.



En placas menores de 12.7 mm. de espesor se tolera 2 mm.  
 En placas de 12.7 hasta 25.4 mm. de espesor se tolera 2.5 mm.  
 En placas arriba de 25.4 mm. de espesor se tolera 3.0 mm.

## SOLDADURAS A TOPE DEFECTUOSAS



En el caso No. 1, colocar otro cordón para dar el esfuerzo necesario, las soldaduras escasas no tienen tolerancia en menos.

En el caso No. 2 reparar las socavaciones con un electrodo delgado, procurando no aumentar el refuerzo más de lo recomendado.

En el caso No. 3, esmerilar el reborde ó desvanecerlo con arcoaire. Deberá vigilarse el voltaje para evitar este tipo de defecto.

VI.- Deberá haber una completa fusión entre el metal base y el de aportación. Todos los crateres se llenarán hasta completar la sección transversal total de la soldadura.

VII.- En casos de defecto de porosidad ó falta de fusión - ver grafica de limitaciones en página No. 81.

VIII.- Las socavaciones permisibles en este tipo de juntas serán las siguientes:

0.25 mm. de profundidad cuando su dirección sea transversal al esfuerzo principal en la parte que está socavada.

0.80 mm. de profundidad cuando su dirección sea paralela al esfuerzo principal en la parte socavada.

Sin embargo debe evitarse al máximo este defecto para lo cual es necesario vigilar la regulación de la máquina y la posición del electrodo.

IX.- Cuando se efectuen soldaduras que requieran varias pasadas, el soldador está obligado a limpiar perfectamente bien los cordones antes de subsecuentes pasadas.

X.- Se recomienda tener cuidado especial en las soldaduras que serán radiografiadas:

- a).- Vigilar que las superficies a soldar estén libres de escoria, rebabas, grasa, aceite, oxidos ó cualquier otro material que pueda interferir en la calidad de la soldadura.
- b).- Limpiar perfectamente bien los cordones antes de depositar nuevos cordones.
- c).- Iniciar y terminar el arco fuera del trabajo en placas de prolongación.
- d).- No usar electrodos húmedos sobre todo si son de la serie E- 70 xx

Usar de preferencia electrodos secados en horno y que tengan una temperatura mínima de 121° C ó en el último de los casos secar la soldadura pasándole el calor de un soplete sin acercarlo más de 12".

XI.- Es recomendable antes de efectuar una soldadura efectuar una predeformación para contrarrestar la deformación de la soldadura.



DEFORMACION NORMAL



PREDEFORMACION ANTES DE SOLDAR



## G.- SOLDADURAS DE FILETE

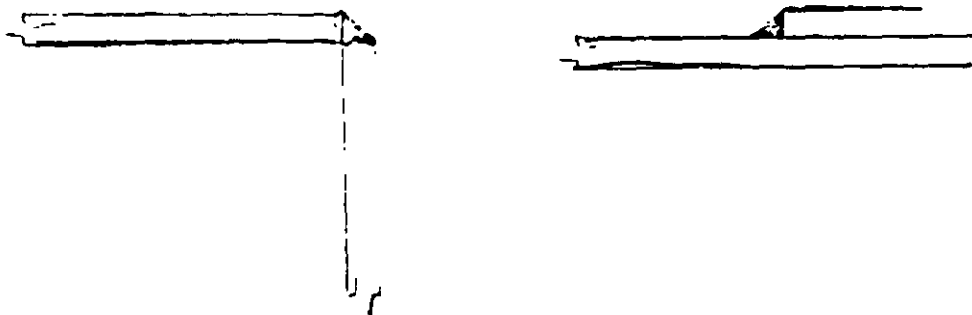
Soldaduras de sección triangular que se aplican generalmente sobre juntas que forman un ángulo recto. Se conocen también con los nombres de: Soldadura de rincón, en esquina ó en T.

I.- Las soldaduras de filete tendrán una dimensión máxima - tal que no exceda del espesor del miembro más delgado (A menos que se especifique otra cosa)

ESPEJOR EN MM. DE LA PARTE MAS GRUESA POR SOLDARSE.	DIMENSION MINIMA - DE EL FILETE EN MM.
HASTA 12.7 INCLUSIVE	4.8
ARRIBA DE 12.7 HASTA 19.1	6.4
ARRIBA DE 19.1 HASTA 38.1	7.9
ARRIBA DE 38.1 HASTA 57.1	9.5
ARRIBA DE 57.1 HASTA 152.	12.7
ARRIBA DE 152	15.9

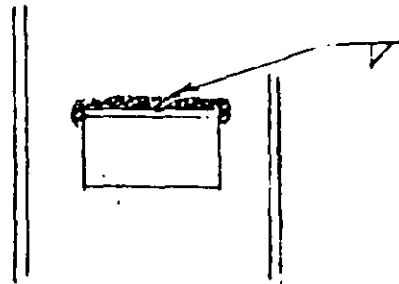
Si la soldadura se hace de una dimensión más pequeña de la - recomendada en la tabla, es probable que se produzcan agrietamientos debidos al endurecimiento en la zona afectada por el calor creado y un rápido enfriamiento ó debido a una desproporcionada condición de sujeción del material grueso.

II.- Cuando se suelde orillas ó esquinas de material, el cordón deberá ser igual que el espesor más delgado, procurando que no queden aristas vivas entre el cordón y el material .

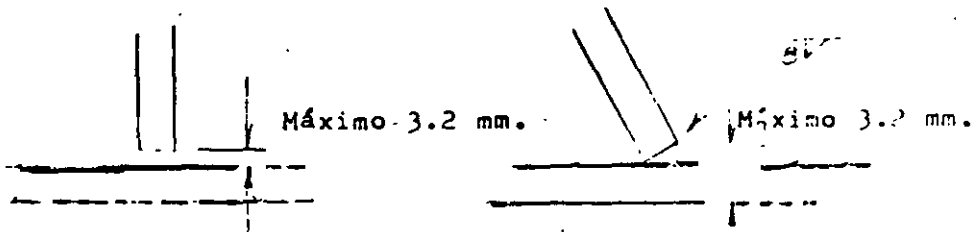


III.- Las soldaduras de filete que soportan una fuerza de tensión que no es paralela al eje de la soldadura ó que están proporcionadas para resistir esfuerzos repetidos (vibración) no se terminarán en las esquinas de las partes ó miembros, sino que se terminarán en forma continua con una vuelta de tamaño completo alrededor de la esquina y por una longitud igual a 2 veces el tamaño de la soldadura.

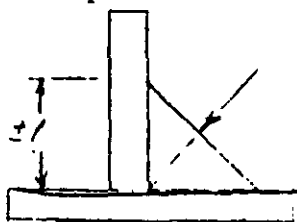
Generalmente estos datos se omiten en los planos porque se piensa que ya son conocidos de todos.



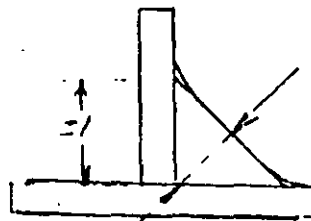
IV.- Las juntas en filete diagonales (esviajadas) ya sea porque así lo pida el cliente ó que se haga así para evitar distorsiones posteriores, no deberán tener una separación mayor de 3.2 mm.



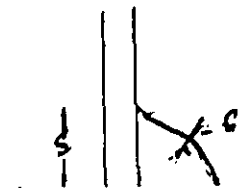
V.- Todas las soldaduras de filete, deberán apearse lo más posible a las siguientes características geométricas.



Sección Crítica



Sección Crítica

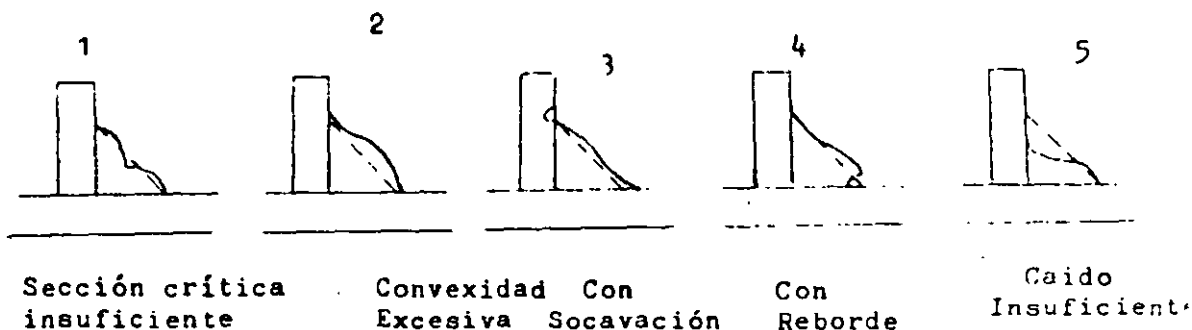


La convexidad C no será mayor que

El cordón convexo será aceptable siempre que la convexidad no sea mayor del producto del tamaño del filete expresado en mm. por el factor 0.1 sumado a 0.76 ejemplo:

$$S = 8 \cdot 0.1 + 0.76 = C \therefore C = .8 + .76; C = 1.56 \text{ mm.}$$

## SOLDADURAS DE FILETE DEFECTUOSAS



En el caso No. 1, colocar un cordón con electrodos delgados para dar el refuerzo necesario.

En el caso No. 2, rebajar con esmeril ó arcoaire, se recomienda al soldar para evitar este defecto vigile su corriente y la velocidad del electrodo.

En el caso No. 3, ver tolerancia en socavación, si se excede esta, colocar un cordón con electrodo delgado en la parte dañada. Se recomienda al soldar vigilar su corriente, la posición del electrodo, ver que el material de aportación se repare bien.

En el caso No. 5, se ha producido este defecto por mala repartición del material de aportación ó bien por mala posición del electrodo, colocar un cordón con electrodo delgado en la porción escasa.

## VI.- TOLERANCIA EN SOCAVACION

Las socavaciones no excederán de 0,25 mm. de profundidad cuando su dirección es transversal al esfuerzo principal en la parte socavada (generalmente trabes) ?

La socavación no excederá de 0.8 mm. de profundidad cuando su dirección sea paralela al esfuerzo principal en la parte socavada (generalmente columnas) ?

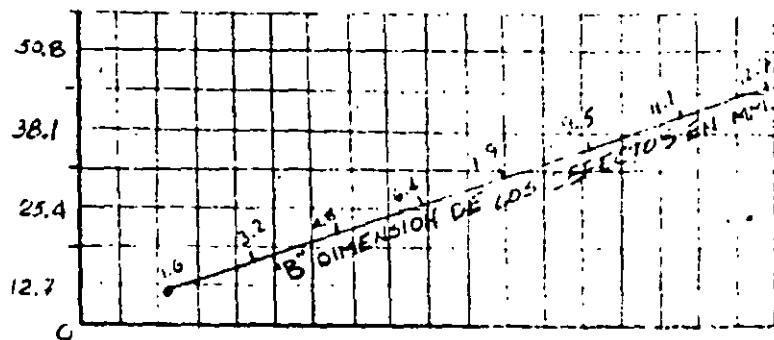
Si es posible posicionar las piezas para obtener un cordón plano.

VII.- TOLERANCIA EN POROSIDAD Y FALTA DE FUSION

La suma de las dimensiones máximas de los defectos de porosidad y falta de fusión que sean menores de 1.6 mm. en su dimensión máxima no excederá 9.5 mm. en cualquier centrimetro lineal de soldadura

"A".- Espesor de la Sección crítica de la soldadura ó de la junta en mm.

LIMITACIONES EN DEFECTOS DE POROSIDAD Y DE FUSION.



"C" .- Espacio libre mínimo permitido entre orillas de defectos de porosidad ó de fusión en mm.

(Gobierna el más grande de los defectos adyacentes)

S. O. F.

a).- Para determinar el tamaño máximo del defecto permitido en cualquier junta ó en el espesor de la sección crítica de la soldadura: Proyectese horizontalmente "A" hasta "B".

b).- Para determinar el espacio libre mínimo permitido entre orillas de defectos de cualquier tamaño: Proyectese "B" verticalmente hasta "C".

VIII.- El tamaño máximo de soldadura de filete que se - - permitirá hacer en una sola pasada, será de 7.9 mm. excepto para las soldaduras en posición vertical ascendente, en las cuales se permitirá un tamaño máximo de 12.7 mm.

IX.- Cuando se suelde en posición vertical el avance de - todas las pasadas será hacia arriba, cuando sea necesario escurrir un cordón ( de arriba hacia abajo) se deben seleccionar -- electrodos cuya fundente no interfiera en el proceso.

X.- Cuando se efectuen cordones en serie (Uno encima de - otro) se deberá remover la escoria totalmente antes de depositar cordones adicionales.

XI.- En placas ó perfiles cuyo espesor sea de una pulgada ó mayor, se deberá precalentar antes de soldar para reducir las contracciones.

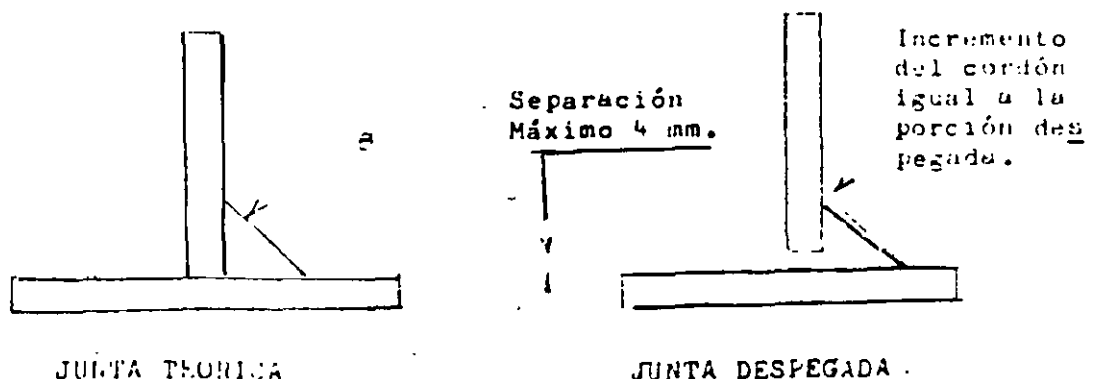
La temperatura de precalentamiento no deberá exceder de - 93.50°C cuando se usen electrodos de bajo hidrogeno.

Cuando se usen electrodos E - 60 xx la temperatura de pre - calentamiento no deberá exceder de 65.50°C

XII.- Para juntas en T, en ángulo ó esquina, las partes a unirse se pondrán en contacto tan cercano como sea posible pero en ningún caso se aceptarán si se encuentran separaciones de - más de 4 mm.

Si la separación entre las piezas a soldar es de 2 mm. bas - tará con soldar normalmente.

Si la separación entre las piezas a soldar es mayor de 2 mm. deberá incrementarse el cordón en una cantidad igual a la sepa - ración, Ejemplo:





**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**CURSOS INSTITUCIONALES**

DIRECCION GENERAL DE CARRETERAS FEDERALES

SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

**TECNICAS MODERNAS DE CONSTRUCCION  
DE PUENTES**

19, 20 y 21 de junio de 1996

**GALVANIZADO PARA LA PROTECCION  
DE LA CORROSION**

EXPOSITOR: ING. FERNANDO FOSSAS REQUEMA  
AGUASCALIENTES, AGS.

1996

---

---

**GALVANIZING FOR  
CORROSION PROTECTION**

---

---

**A SPECIFIER'S GUIDE**

Exposición del Ing. Fernando Fossas Requena

AMERICAN GALVANIZERS ASSOCIATION

---

**GALVANIZING  
FOR  
CORROSION PROTECTION**

---

**A  
SPECIFIER'S  
GUIDE**

---



**Technical Consultant**

The First Capitol City Consultants, Inc.  
Bladensburg, MD

**Graphic Designer**

Cheryl Gildehorn  
Bethesda, MD

© Copyright 1990, American Galvanizers Association. All rights reserved.

---

- Marine Atmosphere, Tropical 28  
Massachusetts Bay Transportation Authority 42  
Mechanical Properties 16  
Meloun 6  
Metal Ore 2  
Metallurgical Bond 11  
NACE 21  
Narrow Gaps 17  
National Bureau of Standards 31  
Nobility Table 4  
Noranda 52  
Offshore Platforms 50  
Ohio Bridges 38  
Ohio Department of Transportation 23  
On-Time Delivery 13  
Painting Galvanizing 18  
Parking Garage 46  
pH 28, 50  
Philadelphia International Airport 42  
Phosphorus 14  
Photomicrograph, Galvanizing 11  
Photovoltaic 40  
Pickling 9  
Point Loma Sewage Treatment Facility, San Diego 44  
Portland, Maine Composting Building 44  
Predictability 24  
Properties of Galvanized Coatings 11  
Publications 56  
Railroads 52  
Ralston Purina 48  
Rebar 32, 33  
Reinforcing Bar 32,33  
Rural Atmospheres 28  
Rust, to 5% Surface 26  
Sacramento Light Rail 42  
Sacrificial Anode 7  
Schuylkill River Expressway 32,38  
Sea Water 30  
Seal Welding 17  
Security Gates 54  
Service Areas 25  
Service Life 26  
Sign Post 38  
Silicon 14  
Silicon Effect Curve 15  
Six Flags of America 54  
Sizes, Shapes 16  
Sodium Chloride 31  
Soils 31  
Solar Hot Water 40  
Specification Assistance 56  
Steel Structures Painting Council 21  
Suburban Atmosphere 27  
Suitability for Galvanizing 16  
Sulfides 31  
Sulfur 14  
Sulfuric Acid 9  
Surface Preparation 8  
Technical Papers 56  
Temple-Eastex 52  
Tennessee Valley Authority 40  
Texas City, Texas 50  
The White House 54  
Transmission Towers 40  
Turnaround 14  
Union Camp 52  
Union Carbide 50  
Union Station, Washington, D.C. 46  
University of California 32  
Vancouver Transit System 42  
Venting 17  
VOCs 20

Volatile Organic Compounds 20  
Welding 17  
Welding Techniques 17  
Wet Process 9  
Willamette Industries 52  
Wind Turbines 40  
Wrigley Field, Chicago 46  
Zeta 11,12  
Zinc Ammonium Chloride 9  
Zinc Carbonate 25  
Zinc Hydroxide 25  
Zinc-Iron Alloy 11,12,14

These publications were referenced in the previous pages and are available from the AGA or your local galvanizer:

Bolted Structural Galvanized Joints 18  
Design of Products to be Hot Dip Galvanized After Fabrication 17  
Galvanized Reinforcement for Concrete-II 32  
Inspection of Products Hot Dip Galvanized After Fabrication 10  
Painting Galvanized Structural Steel 19  
Selected Specifications for Hot Dip Galvanizing 14  
Zinc: Its Corrosion Resistance 29

- AASHTO 10  
Adherence 12  
Agra-Business 48  
Agricultural 48  
Alkali 9  
Amusement Rides 54  
Anode 3  
Applications 37  
Applications, Agriculture 49  
Applications, Bridges and Highways 39  
Applications, Buildings 47  
Applications, Chemical 51  
Applications, Food Processing 49  
Applications, OEM 55  
Applications, Petrochemical 51  
Applications, Power Distribution 41  
Applications, Power Generation 41  
Applications, Power Transmission 41  
Applications, Pulp and Paper 53  
Applications, Transportation 43  
Applications, Waste Water Treatment 45  
Applications, Water Treatment 45  
ASTM 10,15  
ASTM A-123 10  
ASTM Committee A05 25  
ASTM Committee G01 25  
ASTM Standards 14  
Atmospheric Conditions 25  
Baltimore Washington International Airport 46  
Barrier Protection 7  
Battelle Columbus Laboratories 2  
Bay Area Rapid Transit 42  
Bermuda 38  
Bimetallic Couple 3,4,33  
Black River Waste Treatment Plant, Baltimore 44  
Black versus Galvanizing Reinforcing 32  
Boat Trailers 54  
Boise Cascade 52  
Bolt Manufacturer 54  
Bolt Tension Chart 18  
Bolting 18  
Bond Strength 32  
Bridges 38  
Brooklyn Bridge 6,38  
Calcium Carbonate 30  
Carbon 14  
Case Studies 56  
Cathode 3  
Cathodic Protection 7,12  
Caustic Cleaning 8  
Celanese Corporation 50  
Centrifuging 10  
Chemical Environment 28  
Chemical Storage 29  
Chlorides 28,31  
Clinch River Substation 40  
Coating Thickness 14,15  
Cogeneration 40,52  
Commercial History 24  
Concentration Cell 3  
Concrete 32  
Coors 48  
Copper 33  
Corrosion, Behavior 25  
Corrosion, Cost 2  
Corrosion, Definition 2  
Corrosion, Electrochemical 2  
Corrosion, Energy 2  
Corrosion, Factors 4,5  
Corrosion, Galvanic 3  
Corrosion, Rates 24  
Corrosion in Soils 31

- Corrosion With Other Metals 34  
Cost Elements 23  
Crown Zellerbach 50  
CSA 10,15  
Culvert 38  
Delta 11,12  
Design for Galvanizing 16  
Diffusion 15  
Disneyland Splash Mountain™ 42  
Dow Chemical 50  
DPN 11,12  
Dry Process 9  
Ductility 12  
Duplex Life 19  
Duplex Synergy 19  
Duplex System 18  
Ease of Welding 18  
Economics 21  
Edge Thickness 12  
Electrolyte 3  
Environmental Compliance 20  
Eta 11,12  
Factory Application 13  
First Cost 21  
Fish Packing Plant, Homer City, Alaska 48  
Fluor-Daniel Corporation 48  
Fluxing 9  
Fresh Water 30  
Fresh Water Exposure 30  
Galvanic Cell 5  
Galvanic Series 4,5  
Galvanizability 16  
Galvanized Garbage Can 54  
Galvanized Nails 54  
Galvanized versus Epoxy-Coated Rebar 33  
Galvanizing Bath 10  
Galvanizing Definition 6  
Galvanizing History 6  
Galvanizing Information 56  
Galvanizing Patent 6  
Galvanizing Process 7  
Galvanizing Reaction 10  
Galvanizing Temperature 10  
Galvanizing versus Paint 11  
Galvanizing versus Painting 22  
Galveston Marina 42  
Gamma 11,12  
Guardrail 38  
H.J. Heinz 48  
Hardness 11  
Highways 38  
Hollow Structures 13  
HOT-SPEC 56  
HUD Headquarters, Washington, D.C. 46  
Hydrochloric Acid 9  
Hydroelectric 40,52  
IBM, White Plains, New York 46  
Impermeable 12  
Industrial Atmosphere, Heavy 27  
Industrial Atmosphere, Moderate 27  
Infrastructure 2  
Inspection 10,13  
Kinkı Expressway 38  
Leaside Bridge 22, 23  
Life-Cycle Cost 21  
Light Poles 38, 54  
Liquid Environment 28  
Lizotte Bridge 38  
Logan International Airport 42  
Magnesium 31  
Manganese 14  
Marine Atmosphere, Temperate 27

This guide has five major objectives:

- I. To provide a description and understanding of the corrosion process as it applies to metals (particularly steel), in terms relevant to the specifier, designer, and material consultant;**
- II. To provide a description of the hot dip galvanizing process;**
- III. To provide an understanding of how hot dip galvanizing provides corrosion protection;**
- IV. To point out the many advantages of hot dip galvanizing for corrosion protection, and;**
- V. To demonstrate the appropriate use of hot dip galvanizing for corrosion protection by providing technical information and examples of applications and industries where it has been and continues to be regularly and successfully applied.**

The American Galvanizers Association (AGA) has developed a variety of publications that deal with specific technical and economic issues relating to the use of galvanizing to protect steel from corrosion. These publications cover the topics discussed here in much greater detail. Where appropriate, the AGA publication providing additional relevant information will be identified. These publications may be obtained by contacting the AGA or your local galvanizer.

# CORROSION: WHAT AND WHY



When people are asked, "What is corrosion?", the answers received will vary greatly based upon the perspective of the individual responding. The average person on the street would likely answer, "Corrosion is rust." This is a reasonable response, but scientists who study corrosion might answer in terms of complex chemical and physical processes, and economists might sum up corrosion in dollars: \$222 billion of corrosion-related costs in the United States in 1989.

conducted for other industrialized nations produced comparable estimates of the cost of corrosion.

Based on the ageing of our infrastructure an estimated 4.2% of the current annual GNP continues to approximate the yearly cost of corrosion. Applying the study to the 1989 GNP, the estimated cost of metal corrosion to the U.S. economy was a staggering \$222 billion. Further, the application of existing and proven corrosion control technologies, such as hot dip galvanizing, could have resulted in a net 1989 savings of \$33.3 billion.


## CONCERN ABOUT CORROSION

A study conducted in 1975 by Battelle Columbus Laboratories (BCL) for the National Bureau of Standards estimated that in 1975, the cost of metal corrosion to the U.S. economy was 4.2% of the gross national product. In the judgment of BCL, 15% of this cost could have been saved through the application of existing, proven technology. Similar studies

## METAL AND ALLOY CORROSION

In order to understand how galvanizing protects steel from corrosion, it is important to first understand corrosion. Metal corrosion is generally defined as "the undesirable deterioration of a metal or alloy, i.e., an interaction of the metal with its environment that adversely affects the


**The Cost of Corrosion:**



- Dollar Cost
- Safety
- Product Life
- Loss of Specified Performance
- Time
- Liability

The cost of corrosion is equal to building 550 New York World Trade Centers every year!

\$222 billion



properties of the metal."

This definition does not address the specific types or causes of corrosion. Later in this discussion, it will be useful to make this definition more specific to the process of corrosion of steel and iron.

## THE CORROSION PROCESS

Metals are rarely found in their pure state. They are almost always found in chemical combination with one or more nonmetallic elements. Ore is generally an oxidized form of metal.

Significant energy must be input to reduce the ore to a pure metal. This energy can be applied via metallurgical or chemical means. Additional energy may also be input in the form of cold working, or casting required to transform the pure metal into a working shape. Corrosion can be viewed as the tendency for a metal produced and shaped as a result of substantial energy input, to revert to its natural, lower energy state. From a thermodynamic perspective, the tendency to decrease in energy is the main driving force for the corrosion of metals.

Corrosion of metals is an electrochemical process. That is, metal corrosion reactions normally involve both chemical reactions and the flow of electrons. A basic electrochemical reaction that drives the corrosion of metals is galvanic corrosion. In a galvanic cell, current is generated internally

by physical and chemical reactions occurring among the components of the cell.

## Galvanic Corrosion

There are two primary types of galvanic cells which cause corrosion: the bimetallic couple, and the concentration cell.

A bimetallic couple (See Figure 1) is like a battery consisting of two dissimilar metals immersed in an electrolyte. An electric current (flow of electrons) is generated when the two electrodes are connected by an external continuous metallic path.

A concentration cell consists of an anode and cathode of the same metal or alloy and a return current path. The electromotive force is provided by a difference in concentration of the solutions contacting the metal(s).

In a galvanic cell, there are four elements which are necessary for corrosion to occur:

- A. An Anode - this is the electrode where the anode reaction(s) generates electrons. Corrosion occurs at the anode.
- B. A Cathode - this is the electrode which receives electrons. The cathode is protected from corrosion.
- C. An Electrolyte - this is the conductor through which ion current is carried. Electrolytes include water solutions of acids, bases, and salts.
- D. A Return Current Path - this is a metallic



Figure 1

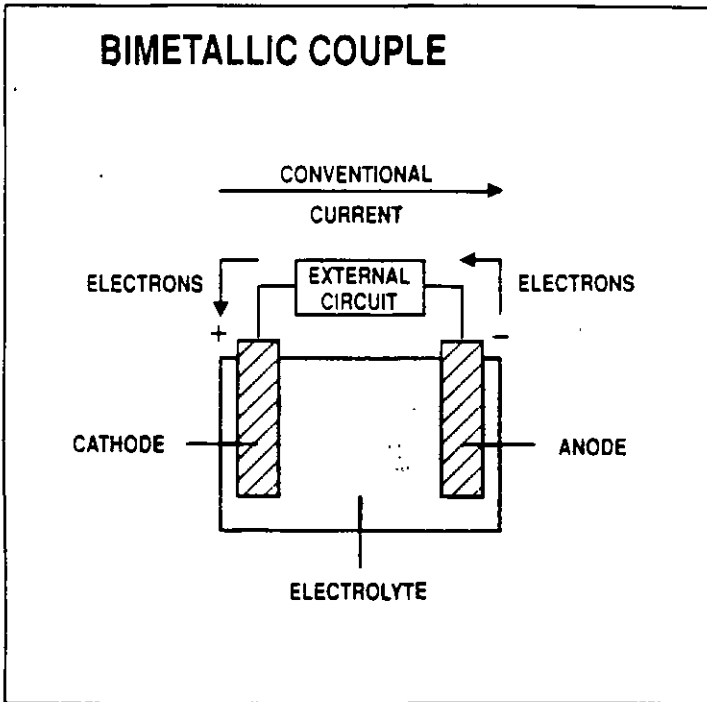
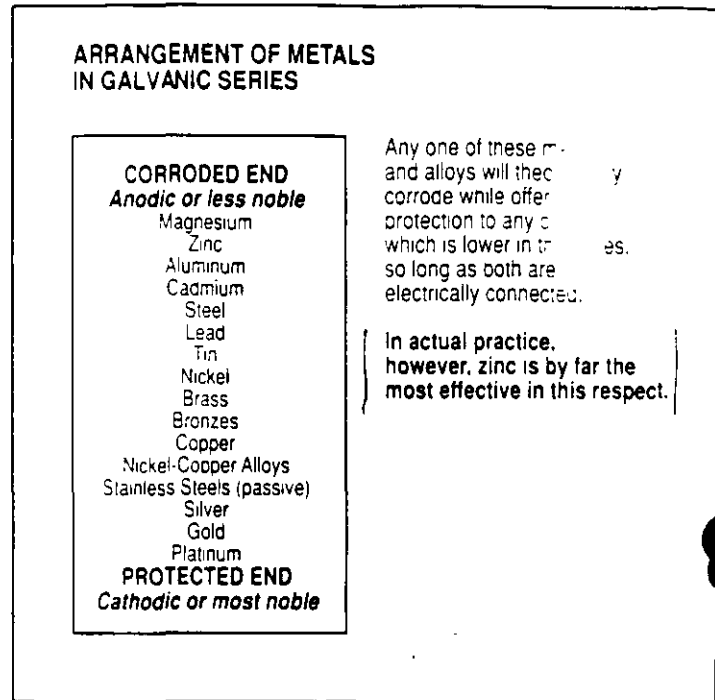


Figure 2



pathway connecting the anode to the cathode. It is often the underlying metal.

less noble metals and have a greater tendency to lose less electrons than the more noble metals found lower on the list.

These four factors contribute to the basis of corrosion and corrosion prevention. Removing any one of these factors will stop the current flow and corrosion will not occur. Substituting a different metal for the anode or cathode may cause the direction of the current to reverse, resulting in a change as to which electrode experiences corrosion.

## CORROSION OF STEEL

It is possible to construct a table of metals and alloys listed in decreasing order of electrical activity (See Figure 2). Metals nearer the top of the table are often referred to as

The actual corrosion process which takes place on a piece of bare mild steel is very complex due to factors such as:

- Variations in the composition/structures of the steel
- Presence of impurities due to the higher instance of recycled steel
- Uneven internal stress
- Presence of a non-uniform environment

It is very easy for microscopic areas of the exposed metal to become relatively anodic or cathodic. A large number of such areas can develop in a small section of the exposed metal. Further, it is highly possible that several different types of galvanic corrosion cells are present in the same small area of the actively corroding piece of steel.

As the corrosion process progresses, the electrolyte may change due to materials dissolving in or precipitating from the solution. Further, corrosion products might tend to build up on certain areas of the metal. These corrosion products do not occupy the same position in the given galvanic series as the metallic component of their constitu-

ent element. As time goes by, there may be a change in the location of relatively cathodic and anodic areas, and previously uncorroded areas of the metal are attacked and corrode. As Figure 3 indicates, this will eventually result in uniform corrosion of the area.

The rate at which metals corrode is controlled by factors such as:

- The electrical potential and resistance between anodic and cathodic areas
- pH of the electrolyte
- Temperature
- Humidity

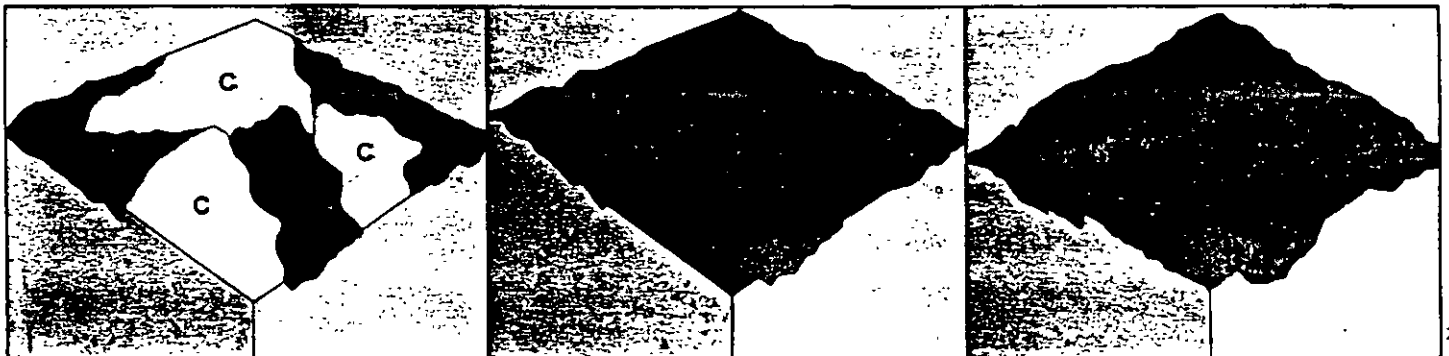


Figure 3. Changes in cathodic and anodic areas

# GALVANIZING FOR CORROSION PROTECTION



Hot dip galvanizing is the process of applying a zinc coating to fabricated iron or steel material by immersing the material in a bath consisting primarily of molten zinc.

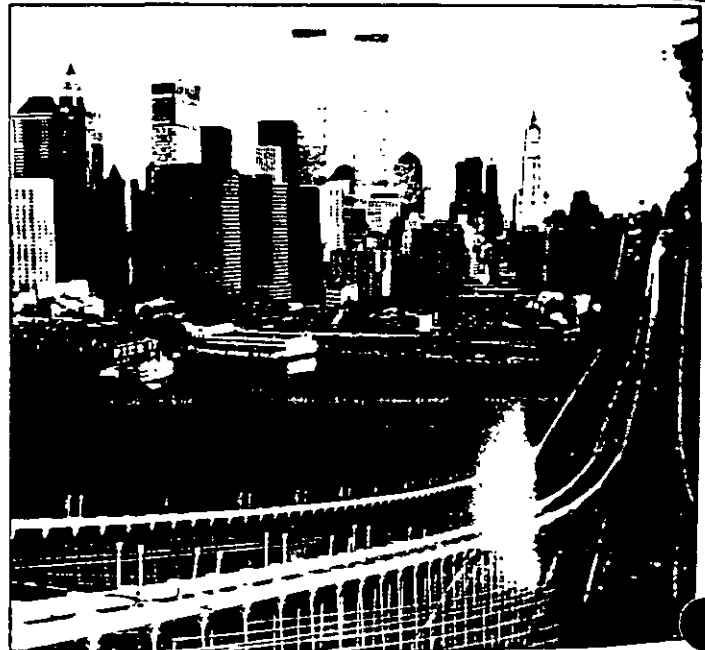
French chemist, Sorel, obtained a patent for a means of coating iron with zinc after first cleaning it with 9% sulfuric acid and fluxing it with ammonium chloride. A British patent for a similar process was granted in 1837. By 1850, the British galvanizing industry was using 10,000 tons of zinc a year for the protection of steel.

***Galvanizing: A factory controlled metallurgical combination of zinc and steel that provides corrosion resistance in a wide variety of environments.***

***Provides cathodic protection. The zinc sacrifices itself to protect the base steel.***

Galvanizing can be found in almost every major application and industry where iron or mild steel is used. The utilities, chemical process, pulp and paper, automotive, and transportation industries, to name just a few, have historically made extensive use of galvanizing for corrosion control. They continue to do so today.

*The Brooklyn Bridge. The original galvanized steel cables installed in the late 1800's are still in use.*



The process is described in more detail later in this guide, but the process is inherently simple. **The simplicity of the galvanizing process is a distinct advantage to other methods of providing corrosion protection.**

## HISTORY OF GALVANIZING

The recorded history of galvanizing goes back to 1742 when a French chemist named Melouin described, in a presentation to the French Royal Academy, a method of coating iron by dipping it in molten zinc. In 1836 another

For over 140 years, galvanizing has had a proven history of commercial success as a method of corrosion protection in a myriad of applications worldwide.

## METHODS OF PROTECTING IRON AND STEEL

**Barrier Protection** is perhaps the oldest and widest used method of corrosion protection. It acts by isolating the metal from the electrolytes in the environment. Two important properties of barrier protection are adhesion to the base metal and abrasion resistance. Paint is one example of a barrier protection.

**Cathodic Protection** is an equally important method for preventing corrosion. Cathodic protection requires changing an element of the corrosion circuit, introducing a new corrosion element, and insuring that the base metal becomes the cathodic element of the circuit.

**Galvanizing provides excellent barrier protection as well as cathodic protection.**

There are two major variations on the cathodic protection method of corrosion protection. The first is called the impressed current method. In this method an external current source is used to impress a cathodic charge on all the iron or steel to be protected. While such systems generally do not use a great deal of electricity, they often are very expensive to install.

The other form of cathodic protection is called the **sacrificial anode** method. Find a metal or alloy that is anodic to the metal to be protected. Place that metal in the circuit and it will become the anode. The protected metal becomes the cathode and does not corrode. The anode corrodes, thereby providing the desired sacrificial protection. In nearly all electrolytes encountered in everyday use zinc is anodic to iron and steel. Thus the galvanized coating provides cathodic corrosion protection as well as barrier protection.

## GALVANIZING

*Barrier protection  
and  
Cathodic protection*

## GALVANIZING PROCESS

There are three basic elements to the galvanizing process (See Figure 4). These are:

- Surface Preparation,
- Galvanizing, and
- Inspection.

## Surface Preparation

Surface preparation is the most important step in the application of any coating. In most instances, where a coating fails before the end of its expected service life it is due to incorrect or inadequate surface preparation.

With galvanizing, the surface preparation process contains its own built-in means of quality assurance and quality control in that zinc will simply not react with a steel surface that is not perfectly clean. Any failures or inadequacies in surface preparation will be immediately apparent when the steel is withdrawn from the molten zinc and uncoated areas remain, and immediate corrective action is taken.

Conversely, a barrier coating applied by brush or spray to an inadequately prepared surface can pass initial inspection but fail on the job weeks, months or even years later, before the end of the expected service life of the coating.

**Hot dip galvanizing is a factory-applied coating, and as such, primary responsibility for surface preparation as well as coating application falls with the galvanizer.**

Field painting or other field-applied systems of corrosion protection may involve the use of different subcontractors and/or work groups to prepare the surface for coating and then to apply the coating to the surface. This can result in problems in coordinating activities resulting in costly and

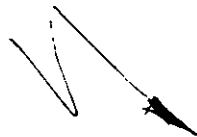
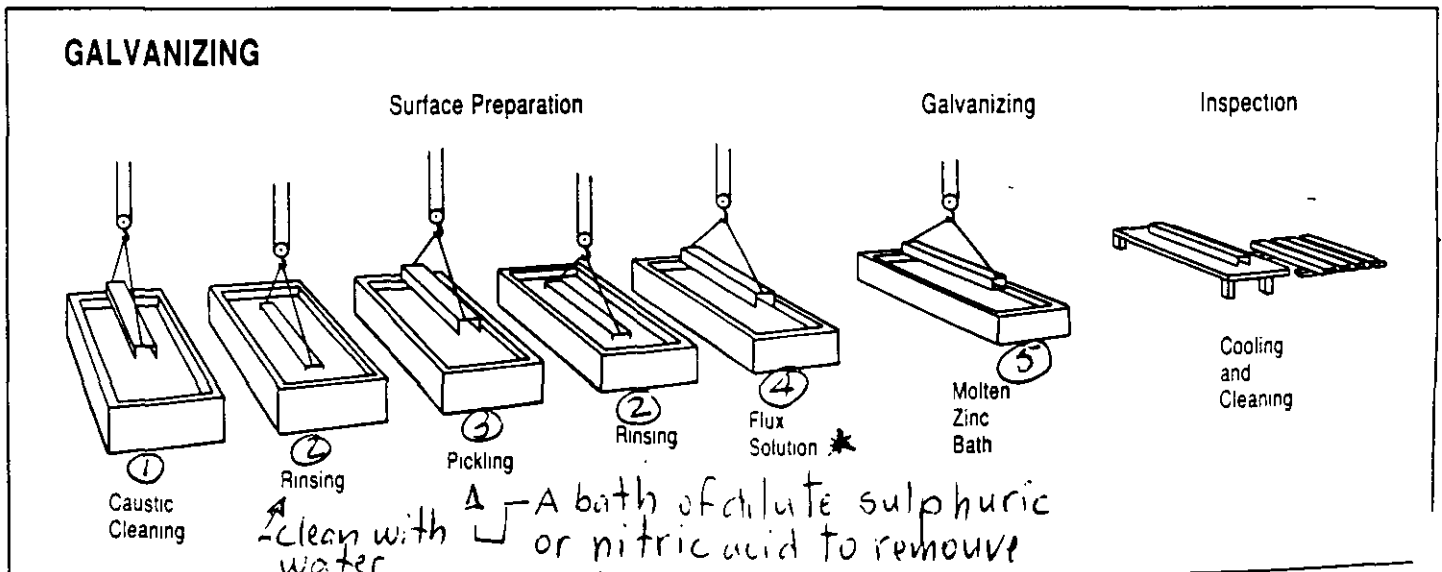


Figure 4



\* Substance used to remove the flux from metals as alkalis

time consuming delays, errors, and disputes concerning responsibility and financial liability. Once a job has been delivered and accepted at the galvanizer's plant, there is one point of responsibility for ensuring that the material leaves the plant properly galvanized, and that point of responsibility is the galvanizer.

Surface preparation for galvanizing typically consists of three steps:

- Caustic Cleaning,
- Acid Pickling, and
- Fluxing

**Caustic Cleaning** - A hot alkali solution is often used to remove organic contaminants like dirt, paint markings, grease and oil from the metal surface. Epoxies, vinyls, asphalt or welding slag must be removed by grit blasting, sand blasting, or other mechanical means before galvanizing. Removal of these materials is usually the responsibility of the fabricator.

**Pickling** - Scale and rust are normally removed from the steel surface by pickling in a dilute solution of hot sulfuric acid or ambient temperature hydrochloric acid.

Surface preparation can also be accomplished using abrasive cleaning as an alternative to or in conjunction with chemical cleaning. Abrasive cleaning is a process whereby sand, metallic shot, or grit is propelled against the steel material by air blasts or rapidly rotating wheels.

**Fluxing** - Fluxing is the final surface preparation step in the galvanizing process. Fluxing removes oxides and prevents further oxides from forming on the surface of the metal prior to galvanizing and promotes bonding of the zinc to the steel or iron surface. The method for applying the flux depends upon whether the particular galvanizing plant uses the wet or dry galvanizing process.

In the dry galvanizing process (See Figure 4), the steel or iron materials are dipped or "prefluxed" in an aqueous solution of zinc ammonium chloride. The material is then thoroughly dried prior to immersion in molten zinc. In the wet galvanizing process, a blanket of molten zinc ammonium chloride is used. This flux layer is floated on top of the molten zinc. The iron or steel that is being galvanized passes through the flux on its way into the molten zinc.

*Galvanizing*



## Galvanizing

In this step, the material is completely immersed in a bath consisting of a minimum of 98% pure molten zinc. The bath chemistry is specified by the American Society of Testing and Materials in Standard A 123. The bath temperature is maintained at about 850 degrees Fahrenheit.

Fabricated items are immersed in the bath long enough to reach bath temperature. The articles are slowly withdrawn from the galvanizing bath, and the excess zinc is removed by draining, vibrating, and/or centrifuging.

The chemical reactions that result in the formation and structure of the galvanized coating continue after the articles are withdrawn from the bath as long as these articles are near the bath temperature. The articles are cooled in either water or cold air immediately after withdrawal from the bath.

## Inspection

The most important method of inspection for galvanized articles is visual. A variety of simple physical and laboratory tests may be performed for:

- Thickness,
- Uniformity of the Coating,
- Adherence of the Coating, and
- Appearance.

**Products are galvanized according to the long established, well accepted, and approved standards of the American Society for Testing and Materials (ASTM).**

Additional relevant standards are provided by the Canadian Standards Association (CSA) and the American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). ASTM standards cover everything from the minimum required coating thicknesses for various categories of galvanized items to the composition of the zinc metal used in the process.

These testing methods and interpretation of results are covered in "Inspection of Products Hot Dip Galvanized After Fabrication," published by the AGA and available from the AGA or your local galvanizer. This booklet includes the "Visual Inspection Guide" and displays full color, close-up photographs.

*Inspection of galvanizing is simple and reliable in the shop and in the field*



## PROPERTIES OF GALVANIZED COATINGS

Figure 5

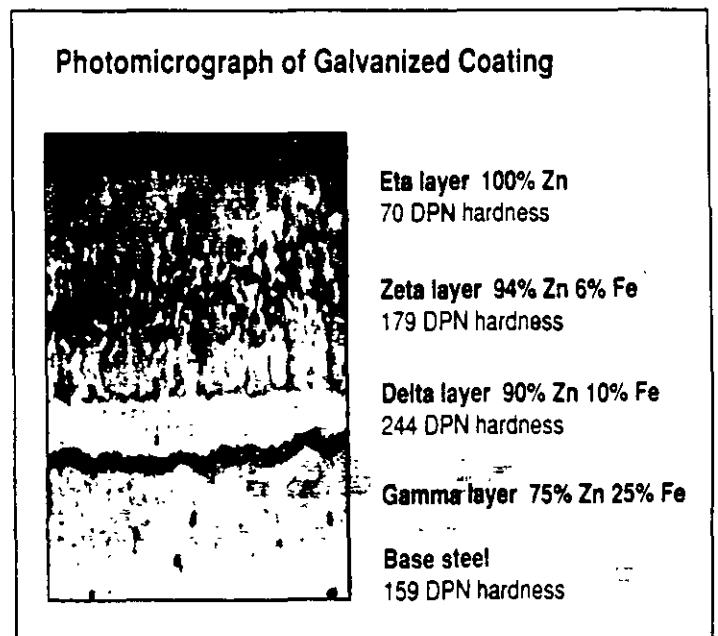
	GALVANIZING	PAINT
Adhesion	Several Kpsi	? - Varies
Application	Works only on Adequately Prepared Surfaces	Inadequate Surface Preparation Can Lead to Paint Failures in Field
Availability	365 Days a Year	Depends on Weather and Humidity Conditions
Bond to Steel	Excellent	? - Varies
Cathodic Protection	Yes	No
Curing	None Required	Up to 28 Days
Delivery	Short Turnaround Time	Can Be Lengthened by Weather Delays
Edge Protection	Equal to Protection on Other Surfaces	Thins at Edges
Inspection	Measurable, Predictable, Reliable, Simple	Unreliable, Time Consuming, Quality Can't be Determined
Maintenance	Little, if any	Periodic Repainting
Metallurgical Bond	Yes	No
Photochemically Sensitive	No	Possible
Prep to Paint	Wash Surface Clean	Grnt Blast to SSPC 6 8 or 10 and Contain
Transportation	Resistant to Abrasion	Soft Coating Can Scratch
Tubular Structures	Inside and Outside Protection	No Inside Corrosion Protection
VOCs	None	? - Varies

## The Metallurgical Bond

Galvanizing forms a metallurgical bond between the coating and underlying steel or iron. Galvanizing creates a barrier that is a part or extension of the metal itself. During galvanizing, the molten zinc reacts with the surface of the steel or iron article undergoing galvanizing to form a series of zinc/iron alloys. Figure 6 is a photomicrograph of a cross section of a galvanized steel coating.

Figure 6 shows a typical galvanized coating consisting of three alloy layers and a layer of metallic zinc. Moving from the underlying metal surface outward, these are:

Figure 6





- The thin **Gamma** layer composed of an alloy that is 75% zinc and 25% iron,
- The **Delta** layer composed of an alloy that is 90% zinc and 10% iron,
- The **Zeta** layer composed of an alloy that is 94% zinc and 6% iron, and
- The outer **Eta** layer that is composed of zinc.

Below the name of each layer in Figure 6 appears its respective Diamond Pyramid Number (DPN). The DPN is a progressive measure of hardness (i.e., the higher the number the greater the hardness). **Typically, the Gamma, Zeta and Delta layers are harder than the underlying steel. The hardness of these inner layers provides exceptional protection against coating damage through abrasion. The outer layer of the galvanized coating is quite ductile, providing the galvanized coating with good resistance to damage by abrasion.**

The galvanized coating is adherent to the underlying steel on the order of several thousand pounds per square (psi) inch. Other coatings typically offer adhesion rated at several hundred psi at best.

**These three factors, hardness, ductility and adherence combine to provide the galvanized coating with unmatched protection against damage by rough handling during transportation to and/or at the job**

**site as well as on the job.** The toughness of the galvanized coating is extremely important since barrier protection from corrosion is dependent upon the integrity of the coating. Other coatings damage easily during shipment or through rough handling on the job site. **Experts will argue that all organic forms of barrier protection (such as paint) must be permeable to some degree. Correctly applied galvanized coatings are impermeable.**

Figure 7. Rust undercuts scratched paint

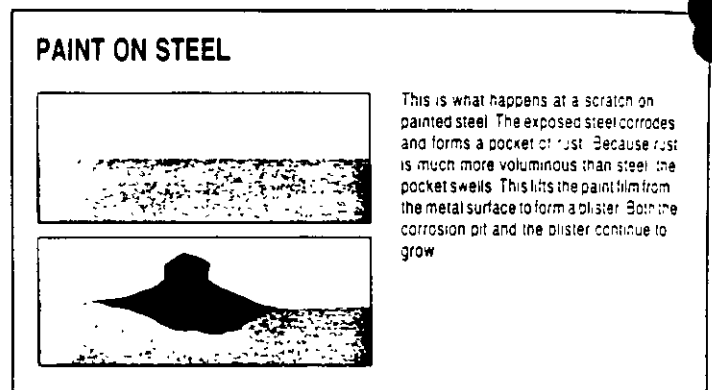
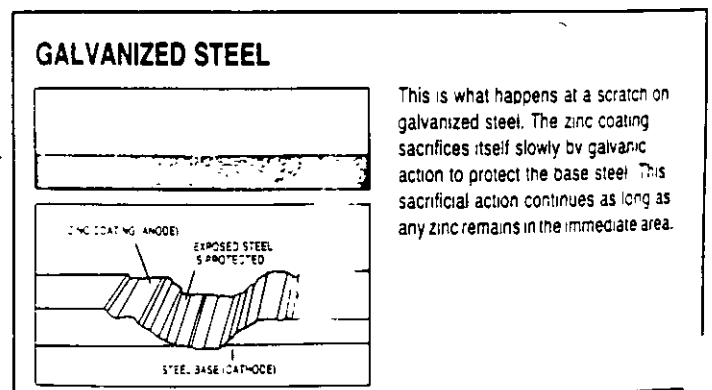


Figure 8. Zinc protects base steel even when scratched



If the coating is physically damaged, the galvanizing will continue to provide cathodic protection to the exposed steel. If individual areas of underlying steel or iron of length and/or width of as much as 1/4" become exposed, the surrounding zinc will provide these areas with cathodic protection for as long as the coating lasts.

Figure 7 shows how corrosion will begin and immediately progress at a scratch or gap in a paint coating. Figure 8 shows how corrosion will be prevented at a scratch or gap in a zinc coating.

The galvanizing process naturally produces coatings that are at least as thick at the corners and edges as the coating on the rest of the article. As coating damage is most likely to occur at the edges, this is where added protection is needed most. Brush- or spray-applied coatings have a natural tendency to thin at the corners and edges. Figure 9 is a photomicrograph that shows a cross section of an edge of a galvanized piece of steel.

**Because the galvanizing process involves total immersion of the material, it is a complete process: all surfaces are coated. Galvanizing provides both outside and inside protection for hollow structures.** Conversely, hollow structures that are painted have no corrosion protection on the inside.

**The inspection process for galvanized items is simple, fast and requires minimal labor.** This is important be-



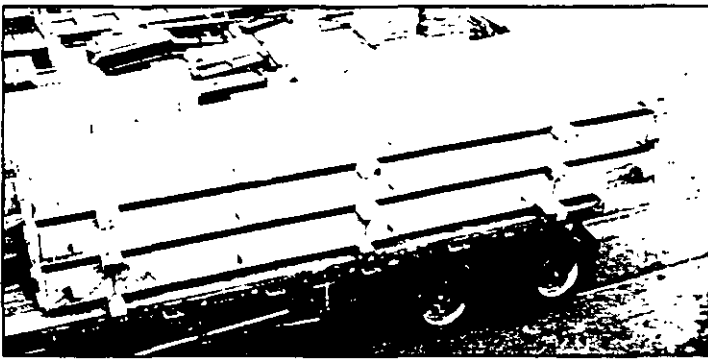
*Figure 9. Full corner protection provided*

cause the inspection process required to assure the quality of many brush- and spray-applied coatings is highly labor intensive and uses expensive skilled labor.

**Galvanizing continues at the factory under any weather or humidity conditions.** Most brush- and spray-applied coatings are dependent upon proper weather and humidity conditions for correct application. The dependence of most brush- or spray-applied corrosion systems upon proper weather and humidity conditions often translates into costly construction delays at the job site.

The galvanizer's ability to work in any type of weather allows a higher degree of assurance of on-time delivery. Working under these circumstances, galvanizing can be

completed with short lead and turnaround times. A turnaround time of two or three days for galvanizing is common, and a week is standard.



*On time delivery*

very important. The amount of silicon and phosphorus present in the steel strongly influences the thickness and appearance of the galvanized coating. A silicon level of 0.04% or greater or a phosphorus level of 0.004% or greater in the steel will generally result in thick coatings consisting primarily of zinc-iron alloys. The coating thickness curve shown in Figure 1 relates the effect of silicon in base steel to the thickness of the zinc coating. The carbon, sulfur, and manganese content of the steel also may have a minor effect on the galvanized coating thickness.

Certain steel compositions tend to accelerate the growth of zinc-iron alloy layers. This may result in a finished

## Coating Thickness

ASTM specifications establish minimum standards for thickness of galvanized coatings on various categories of items. By the nature of the galvanizing process, the minimum standards specified by ASTM are routinely exceeded by galvanizers. Factors influencing the thickness and appearance of the galvanized coating include:

- Chemical composition of the steel,
- Steel surface condition,
- Cold working of steel prior to galvanizing,
- Bath immersion time,
- Bath withdrawal rate, and
- Steel cooling rate

The chemical composition of the steel being galvanized is

### ASTM STANDARDS RELATING TO HOT DIP GALVANIZED MATERIALS

A 123	Standard Specification for Zinc (Hot Dip Galvanized) Coatings on Iron and Steel Products
A 443	Standard Practice for Safeguarding Against Embrittlement of Hot Dip Galvanized Structural Steel Products and Procedure for Detecting Embrittlement
A 513	Standard Specification for Zinc Coating (Hot Dip) on Iron and Steel Hardware
A 564	Standard Recommended Practice for Safeguarding Against Warpage and Distortion During Hot Dip Galvanizing of Steel Assemblies
A 565	Standard Practice for Providing High Quality Zinc Coatings (Hot Dip)
A 571	Standard Specifications for Zinc Coated (Galvanized) Steel Bars for Concrete Reinforcement
A 588	Standard Specification for Repair of Damaged Hot Dip Galvanized Coatings
A 593	Standard Test Methods for Measuring Coating Thickness by Magnetic Field or Electromagnetic Test Methods

### CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION STANDARDS RELATING TO HOT DIP GALVANIZING

S 100	Hot Dip Galvanizing of Irregularly Shaped Articles
-------	--

galvanized coating consisting entirely of a zinc-iron alloy. Instead of the shiny spangled appearance, the galvanized coating will have a dark gray, matte finish. This dark gray, matte galvanized coating will provide as much corrosion protection as a galvanized coating having the common spangled appearance.

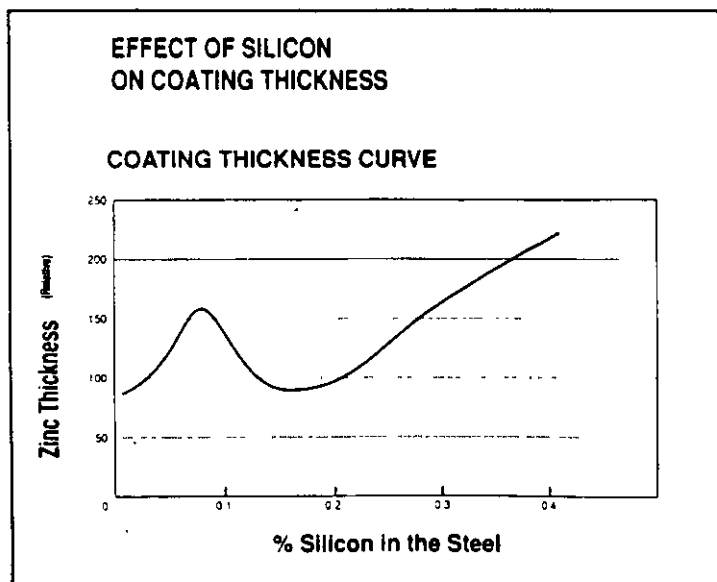
As the galvanizing reaction is a diffusion process, higher zinc bath temperatures and longer immersion times will generally produce somewhat heavier alloy layers. Like all diffusion processes, however, the reaction proceeds rapidly at first and then slows as layers grow and become thicker. Continued immersion beyond a certain time will have little incremental effect. In galvanizing of silicon bearing steels containing more than 0.04% silicon, the diffusion process

significantly changes. Figure 10 shows the relative effect of the increased silicon.

The thickness of the outer pure zinc layer is largely dependent upon the rate of withdrawal from the zinc bath. A rapid rate of withdrawal causes an article to carry out more zinc and generally results in a thicker coating.

ASTM and CSA specifications and inspection standards for galvanizing recognize that variations inherently occur in both coating thickness and compositions. Thickness specifications are stated in both average terms and as a minimum for any individual article tested. Further, coating thickness measures must be taken at several points on each inspected article to comply with ASTM A 123.

Figure 10



## DESIGN OF PRODUCTS FOR GALVANIZING



Corrosion prevention must begin on the drawing board. This is true regardless of the system selected. The specification of galvanizing as the means of corrosion prevention for a particular product has minimal design

limitations. Certain practices should be followed in designing structures for effective and safe galvanizing. These practices are easily applied and in most cases are routine methods used to ensure maximum corrosion protection.

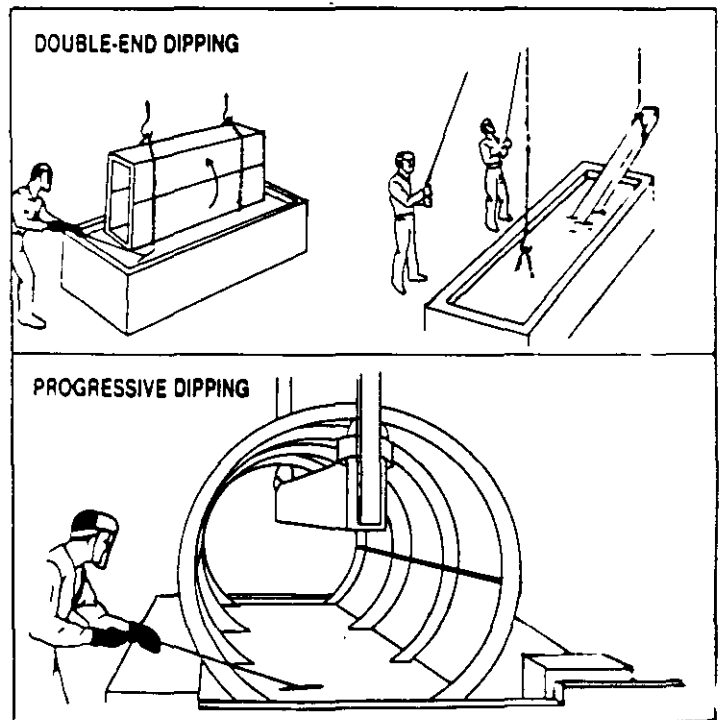
Most ferrous materials are suitable for galvanizing. These include: cast iron, malleable iron, cast steels, hot rolled steels and cold rolled steels. Structural steel shapes, including those of high strength, low alloy materials may be hot dip galvanized after fabrication to obtain the long lasting protection afforded by the zinc coating. **The most satisfactory way to ensure the safe, effective and economic galvanizing of your articles is for the designer, fabricator and galvanizer to work together before the product is manufactured.**

### SIZES, SHAPES AND DIMENSIONS

Iron and steel articles to be galvanized after fabrication range from small pieces of hardware to large welded steel assemblies or castings weighing several tons. Galvanizing kettles up to 40 feet long are available in most industrial areas. It is common to find kettles approaching 60 feet. Through the processes of double-end dipping (for articles too deep or too long to fit in the galvanizer's kettle) or pro-

gressive dipping (generally for large cylindrical objects with a width exceeding that of the kettle), it is possible for the galvanizer to process articles that exceed the dimensions of his kettle.

Examples of double-end dipping and progressive dipping are shown in Figure 11. If you have a question regarding the galvanizability of a product, contact your local galvanizer or the AGA.



## MECHANICAL PROPERTIES

According to studies by the BNF Metals Technology Centre in the United Kingdom (as well as numerous other national and international studies), hot dip galvanizing produces no significant changes in the mechanical properties of the structural steels commonly used throughout the world. The underlying steel in the galvanized article is chemically and metallurgically equivalent to the uncoated steel.

## OTHER DESIGN CONSIDERATIONS

Galvanizing requires that cleaning solutions and molten zinc flow into, over, through, and out of the fabricated article. Designs that inhibit the flow may cause problems.

Filling and vent holes must be provided to prevent pickling or other cleaning bath fluids from becoming trapped in an article. It is best to avoid narrow gaps between plates, overlapping surfaces, and back to back angles and channels. When overlapping or contacting surfaces cannot be avoided, all edges should be completely sealed by welding.

A book, "The Design of Products to be Hot Dip Galvanized After Fabrication," is available from the AGA or your local galvanizer. In addition to covering all the essential considerations for proper design and providing specific technical specifications and details, many illustrations demonstrate both proper and improper design practices.

## Welding

When welded items are galvanized, both the cleanliness of the weld area after welding and the metallic composition of the weld itself affect galvanizing quality and appearance. Some welding techniques that lead to satisfactory results include:

- Use of an uncoated electrode where possible
- Thorough removal of all welding flux residues if a coated electrode is used
- A welding process that produces essentially no slag
- A submerged arc method for heavy weldments
- Selection of welding rods providing a deposited weld that is composed of as close to the same materials as the parent metal as possible and,
- Avoidance of welding rods which are high in silicon.

***" Procedures are simple and well established for field welding galvanized steel."***

**Gregory Sytch Jr., President  
G.T.I. Welding  
Linden, New Jersey**

Materials which have been galvanized may be welded easily and satisfactorily by all common welding techniques. The American Welding Society has produced a book which details all aspects of welding galvanized items. In general, anything that can be welded before galvanizing can be welded with relative ease after galvanizing. A copy of the AWS book is available from the AGA or your local galvanizer.

## Bolting

Hot dip galvanizing is a well established and widely used process for coating mechanical fasteners and welded joints. The prime mechanical fasteners used for making field connections in steel are bolts which conform to ASTM and CSA standards. Bolted galvanized structural joints can be designed for both bearing and friction type connections. Galvanized joints of this type have a long and outstanding performance history. A wide variety of structures have been built using hot dip galvanized steel and connected using galvanized steel bolts.

Figure 12 shows a representative chart for bolt tension of galvanized versus black bolts. A lubricated galvanized bolt can develop greater joint tension than that of a black bolt. A book "Bolted Galvanized Structural Joints" is available from the AGA or your local galvanizer. It gives additional information on the characteristics and advantages of bolted galvanized structures, and offers comment on bolting procedures.

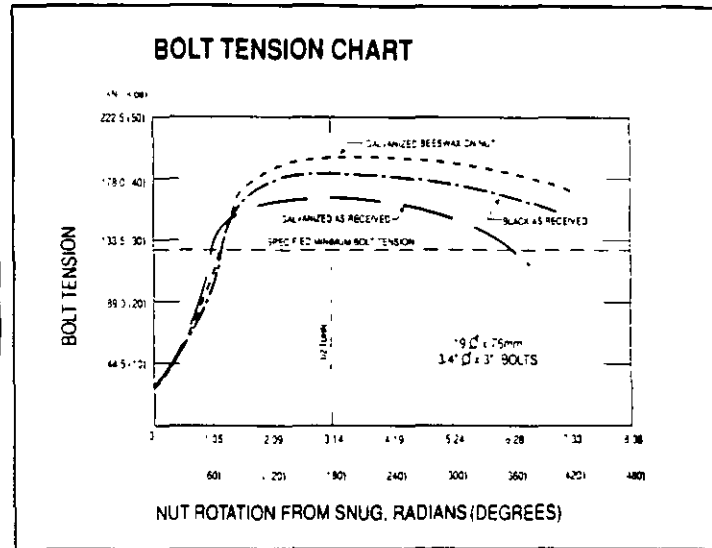


Figure 12

## Painting Galvanized Steel

Galvanized articles are easily and successfully painted. The two factors critical to success are proper postgalvanizing surface preparation and proper paint system selection.

Galvanized steel might be painted for a number reasons: aesthetics, safety marking, and the desire for even longer lasting protection.

A corrosion protection system consisting simply of galvanizing provides very long term, cost-effective corrosion protection. Often the expected service life of the galvanized coating actually exceeds the design life of the structure it is used to protect. However, a duplex system, one consisting

vides more complete and detailed information about duplex systems. In addition to providing a wealth of technical details, advice and a discussion of the suitability of a number of different types of paints for application after galvanizing, this publication also presents a number of specific applications and color photographs of duplex systems.

**Environmental Compliance**

The United States Environmental Protection Agency (EPA), in addition to many state and local environmental protection agencies, has established restrictions governing volatile organic compounds (VOCs). Many brush- and spray-applied corrosion protection systems contain VOCs and are thus subject to this regulation.

The galvanized coating contains no VOCs and is compliant with these regulations.

**GALVANIZING**

**ZERO**

**VOCs**

Volatile organic compounds →

\*\* Costo actual por ton de  
acero estructural colocado  
= \$ 12,000/ton metrica  
≅ Dls 3,300/ton inglese

\* 700gr/m<sup>2</sup>/cara de 0.1mm espesor  
= 2% del peso del <sup>≅ 4 unts!</sup> acero  
Dls 24/kg = 24000/ton. de zinc.

420 Dls/ton/galvanizado



of properly selected and applied paint over galvanizing, greatly extends the period that effective corrosion protection is provided. A useful rule of thumb is that a duplex system will provide effective corrosion protection for one and one half times the service life of the sum of the service lives of the individual systems. For example, suppose that the expected service life of the galvanized coating in a particular environment is 35 years and that the expected service life of the paint system is 10 years. The expected service life of the duplex system will be 67.5 years (i.e.,  $1.5(35 + 10)$ ). While such duplex systems will often have a premium first cost, they are usually the lowest life-cycle cost solution. They may be the only feasible solution for structures in aggressive environments where later in-service painting is extremely difficult or impossible.

The synergy of duplex systems in corrosion protection stems from three known factors:

- The paint film extends the life of the galvanized coating by providing additional barrier protection to the zinc layers.
- An underlying layer of zinc tends to prolong the life of a paint coating by preventing an underlying layer of corrosion from developing.
- The corrosion products of zinc and its alloys further retard paint coating damage by sealing cracks and pores in paint films.

Some galvanizers do have facilities to shop-apply paint coatings after galvanizing. The specifier should check with the galvanizer to determine if these facilities are available.



*Duplex system on ornamental steel*

When the design life of a fabricated item does exceed the service life of the galvanized coating without a duplex system, **the initial galvanized coating can make subsequent corrosion protection by brush- or spray-applied paint systems much simpler and less expensive.** When a paint-based corrosion protection system reaches the end of its service life, abrasive blasting or grinding back to white steel is frequently necessary in order to repaint. Preparation of a previously galvanized surface for a properly selected paint-based system of corrosion protection is normally much simpler.

A publication, "Painting Galvanized Structural Steel" is available from the AGA or your local galvanizer. 1. 5-

# ECONOMICS OF GALVANIZING

## ECONOMIC ANALYSIS



As shown throughout this book, any exposed steel must be protected to ensure an effective service life. Depending on the corrosion expert, the cost of corrosion protection for a structure will range from 0.5% - 5.0% of the

cost of the project. In exceptional cases, where a large amount of lightweight steel is exposed to corrosive attack, the corrosion protection system may represent a much more significant part of the project budget.

### First Cost

*and epoxy?*

Looking at the two primary corrosion protection systems, galvanizing and paint, it is necessary to define the specifications for each so that a reasonable cost comparison can be conducted. The galvanized material would normally be specified to ASTM A 123. This calls for up to 2.3 ounces of zinc per square foot of steel. For purposes of this discussion, it is assumed that there are 250 square feet of steel surface per ton. Therefore, the galvanizing cost should be approximately \$370 - \$480 per ton. \*\*

A "high performance" paint system that is frequently specified in competition with galvanizing consists of an inorganic zinc primer, a high-build epoxy intermediate coat, and a polyurethane topcoat. This "high performance" system, in order to function properly, must be applied over a

steel surface that has been blasted to Steel Structures Painting Council specification SP 10. According to a bi-annual coating economics survey published by the National Association of Corrosion Engineers (1990), the estimated cost for shop application of this paint system ranges from \$345 - \$689 per ton.

These numbers indicate that galvanizing falls in the low end of the range of cost for the paint system. The difference in cost between the two systems is relatively insignificant when compared to the total project cost.

### Life-Cycle Cost

Based on a moderate exposure to corrosive elements in the atmosphere, the galvanized system will have a projected life (to 5% surface rust) in excess of 40 years. The paint system, based on the same NACE report, will require repainting in approximately 11 years. Therefore, when designing a structure with an anticipated life of 40 years, it is necessary to include future costs of repainting as part of the total corrosion protection costs.

Maintenance painting consumes a significant and escalating portion of operating and maintenance budgets. As more focus is placed on controlling maintenance costs, a reliable, low maintenance corrosion system is required. The life-cycle cost of a corrosion protection system can be estimated by using commonly accepted economic formulas.

## The Cost Per Square Foot Per Year Theory of Value

The current method for evaluating any coating system is to determine its cost in dollars per square foot per year over the life of the structure. Concern with the cost of corrosion protection per square foot of steel has attracted significant attention among specifiers, engineers, and corrosion consultants. The cost per square foot per year method seeks to minimize costs by analyzing all cost components including first cost and operating and maintenance costs. An economic analysis that includes both initial costs and future maintenance costs should be used to select the most economic protective coating system. It is important to emphasize that in constructing a comparison on costs, each

system must be examined in detail for possible additional costs and savings.

## Galvanizing's Advantage as a Capitalized Expenditure

Generally accepted accounting practices for building maintenance dictate that maintenance painting be taken as an operating expense. The expenses of galvanizing can be capitalized because these expenses generally occur during construction. Under this accounting practice, galvanizing does not compete for precious operating dollars.

---

## Galvanizing vs. Painting: By the Numbers

The chart compares the costs of galvanizing with the costs of painting. The conclusion: Galvanizing is a clear financial winner.

The Leaside Bridge, owned by Metropolitan Toronto, extends 1300 feet over the Don Valley Parkway at Millwood Road, and was originally built in 1927 using painted structural steel.

In 1969, it was decided that the bridge would be widened from four to six lanes. When bids were tendered, three different approaches were solicited:

Option 1. Blast clean and paint all structural steel (specified as blast clean, zinc rich primer and 2-coat vinyl). **Initial Cost: \$294,000**

Option 2. Galvanize new steel in the expansion, and blast clean and repaint the bridge's original steel in the field (i.e. same paint specifications as above). **Initial Cost: \$230,000**

Option 3. Galvanize the new steel and zinc metallize the original steel. **Initial Cost: \$271,000**

## Other Cost Factors Associated With Other Methods of Corrosion Control

There are a multitude of cost elements that are typically not included in an economic analysis:

- The cost of surface preparation in the field when repainting
- The cost of environmental compliance in the field when repainting
- The cost of containment systems
- The cost of materials disposal
- The cost of weather delays
- The cost of insurance, and other unknown, uncontrollable factors.

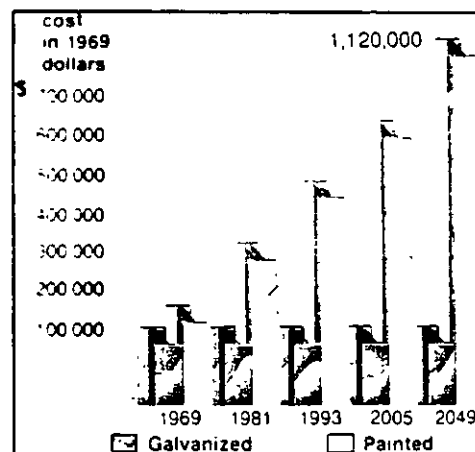
These factors may cause the cost of repainting to accelerate well beyond the projected cost as determined by the economic analysis. As a case in point, the state of Ohio Department of Transportation has projected a 43% increase in maintenance painting costs in one year.

Galvanizing requires little, if any, maintenance in comparison to the maintenance demands of paint systems. When all the elements in the economic analysis are included, it will be obvious that galvanizing has the lowest life-cycle costs. "Because today's capital expenditures make the bed that the company must lie in tomorrow, today's decisions must be based on definite assumptions as to what tomorrow will be like."

The choice made was galvanizing the new steel and repainting the original steel, Option 2, the lowest initial cost option. After 20 years in service, in Toronto's moderately industrial atmosphere, all the steel galvanized is in excellent condition. Readings taken in May 1988 showed a coating thickness of at least 7 mils of zinc. This ensures a further maintenance-free life of over 50 years for all galvanized steel on the Leaside Bridge. Galvanizing the new structural steel on the Leaside Bridge saves the cost of repainting every 10-12 years.

The sidebar chart shows the cumulative estimated future costs for maintaining the structure in 1969 dollars. The cost for the galvanized structure goes up little if any during the 80 year time period, but the cumulative dollars for the paint option grow rapidly.

The galvanizing saves money on the first cost, and savings increase as the age of the structure increases.



## CORROSION RESISTANCE OF GALVANIZED COATINGS



Galvanized coatings have a long commercial history under a large number of environmental conditions. The corrosion resistance of zinc coatings varies greatly with the environment in which they serve. In general, within the range of most commonly encountered environments, the galvanized coating corrodes at a rate between 1/10 and 1/30 that of exposed steel (See Figure 13).

The predictability of the lifetime of a barrier coating is important for planning and financing required maintenance. Measurements of the actual rate of consumption of the galvanized coating during the first few years of service often provide good data for projecting remaining life until first maintenance. In fact, these estimates will be somewhat conservative under most conditions. Due to the build up of zinc corrosion products, which, in many environ-

*(up to 1/364; 1/40 common). 1/10 is absolute minimum.*

Figure 13

COMPARATIVE RANKINGS OF 38 LOCATIONS BASED ON STEEL AND ZINC LOSSES			2-Year Exposure Grams Lost		Steel : Zinc Loss Ratio
Zinc	Steel	Location	Zinc	Steel	
1	1	Norman Wells N.W.T. Canada	0.37	0.73	10.3
2	2	Phoenix Ariz	0.13	2.23	17.0
3	3	Saskatoon, Sask. Canada	0.13	2.77	21.0
4	4	Esquimalt Vancouver Island Canada	0.21	6.50	31.0
5	5	Fort Amador Pier, Panama C.Z.	0.28	7.10	25.2
6	6	Ottawa Ontario Canada	0.49	9.60	19.5
7	7	Miraflores Panama C.Z.	0.50	20.90	41.8
8	8	Cape Kennedy, 1.2 mile from Ocean	0.50	42.00	84.0
9	9	State College Pa.	0.51	11.17	22.0
10	10	Morenci Mich.	0.53	7.03	18.0
11	11	Middletown Ohio	0.54	14.00	26.0
12	12	Potter County, Pa.	0.55	10.00	18.3
13	13	Bethlehem, Pa.	0.57	18.30	32.4
14	14	Detroit, Mich.	0.58	7.03	12.2
15	15	Point Reyes, Calif.	0.57	244.00	364.0
16	16	Trail B.C., Canada	0.70	16.90	24.2
17	17	Durham, N.H.	0.70	13.30	19.0
18	18	Halifax (York Redoubt), N.S.	0.70	12.97	18.5
19	19	South Bend Pa.	0.78	16.20	20.8
20	20	East Chicago Ind.	0.79	41.10	52.1
21	21	Brazos River, Texas	0.81	45.40	56.0
22	22	Monroeville, Pa.	0.84	23.80	28.4
23	23	Dayton Beach Fla.	0.88	144.00	164.0
24	24	Kure Beach N.C. 800 foot Lot	0.89	71.90	80.0
25	25	Columbus Ohio	0.95	16.00	16.8
26	26	Montreal Quebec, Canada	0.95	11.44	10.9
27	27	Pittsburgh Pa.	0.94	14.90	13.1
28	28	Waterbury, Conn.	0.92	11.00	9.8
29	29	Limon Bay, Panama, C.Z.	0.90	30.30	25.9
30	30	Cleveland, Ohio	0.91	19.00	15.7
31	31	Newark N.J.	0.83	24.70	15.1
32	32	Cape Kennedy 60 yds. from Ocean	0.80	80.20	45.5
33	33	Cape Kennedy 60 yds. from Ocean	0.83	215.00	117.0
34	34	Cape Kennedy, 60 yds. from Ocean	0.84	64.00	33.0
35	35	Bayonne N.J.	0.91	37.70	17.9
36	36	Kure Beach, N.C. 80-ft Lot	0.90	260.00	93.0
37	37	Halifax (Federal Building), N.S.	0.92	55.30	17.0
38	38	Galeta Point Beach Panama C.Z.	0.80	336.00	49.4

$\frac{1686}{38} = 44.4 \text{ (1/44)}$

ments, are adherent and fairly insoluble, the corrosion rate may tend to slow. Thus to the extent that the rate of corrosion tends to depart from a constant, it will tend to slow in many environments as time progresses. Therefore, estimates of service life until first maintenance of a galvanized coating based upon measurements taken during the first few years of service will often tend to be conservative.

Environments in which galvanized steel and iron are commonly used include: outdoor atmospheres, indoor atmospheres, hundreds of different chemicals, fresh water, sea water, soils, concrete, and contact with other metals. Again, because of the long length of time galvanizing has been in use for corrosion protection, a wealth of real-world, long-term exposure data about the behavior of zinc coatings in a wide variety of environments is available.

## ATMOSPHERIC CONDITIONS

Zinc oxide is the initial corrosion product of zinc in relatively dry air. This is formed by a reaction between the zinc and atmospheric oxygen. In the presence of moisture, this is converted to zinc hydroxide. The zinc hydroxide further reacts with carbon dioxide to form zinc carbonate. The zinc carbonate film is tightly adherent, relatively insoluble and is probably primarily responsible for the excellent and long lasting corrosion protection provided by the galvanized coating in most atmospheric environments.

ASTM Committee A05 (Metallic Coated Iron and Steel Products) and G01 (Corrosion of Metals) and other organi-

## GALVANIZING SERVICE AREAS

- Atmospheric
- Soils
- Fresh Water
- Salt Water
- Concrete
- Chemicals

zations have been collecting continuous records of the behavior of zinc coatings under various categories of atmospheric conditions since at least 1926. These atmospheric exposure tests have been conducted throughout the world to obtain corrosion rate data for zinc exposed in various atmospheres. Precise comparison of the corrosion behavior of the galvanized coating in various atmospheric environments is influenced by many factors. Such factors include the prevailing wind direction, type and density of corrosive fumes and pollutants, amount of sea spray, number of wetting and drying cycles, and the duration of exposures to moisture. Although there has been considerable spread in

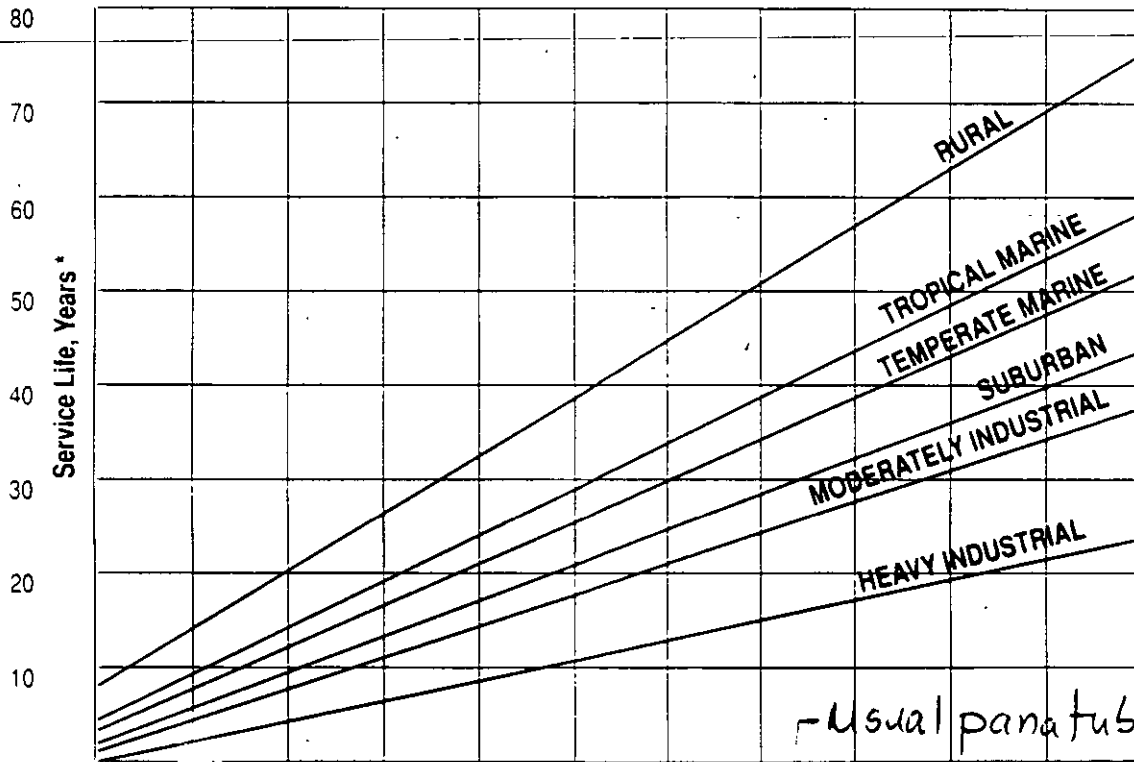
Figure 14

## LIFE OF PROTECTION VS. THICKNESS OF ZINC AND TYPE OF ATMOSPHERE

\* Service Life is defined as the time to 5% rusting of the steel surface.

11    21    32    43    54    65    75    86    97    108    118    129

Thickness of Zinc in Micrometers



- Usual panatubos S.A.

- Msc. no 49  
↓  
Panc 65

Gr/m <sup>2</sup>	Oz. of Zinc/Sq. Ft. of Surface*	Thickness of Zinc in Mils
.25	1.25	2.1
.75	3.77	6.6
	1.50	2.6
	4.12	6.6
	1.75	3.0
	5.27	7.6
	2.00	3.4
	6.03	8.6
	2.25	3.8
	6.78	9.7
	2.50	4.2
	7.53	10.7
	2.75	4.7
	8.29	12.0
	3.00	5.1
	9.04	13.0

Gr/m<sup>2</sup>

les. nws de mm

Δ

↑  
L = .11mm

↑  
L = .1mm

observed corrosion rates, even under the most severe conditions, actual observed rates rarely exceed 0.3 mils per year. It is also worthwhile to note that when exposed indoors, the life of the galvanized coating will be at least two to three times that which might be expected with outdoor exposure in the same respective environment.

Figure 14 is a plot of the thickness of the galvanized coating against the expected service life of the coating under outdoor exposure conditions. The expected service life is defined as the life until 5% of the surface is showing red iron rust. At this stage, it is unlikely that the underlying steel or iron has been weakened or the integrity of the structures protected by the galvanized coating otherwise compromised through corrosion. Enough of the galvanized coating remains to provide a good substrate for implementation of an appropriately selected brush- or spray-applied corrosion protection system if disassembly for regalvanizing is not a feasible solution.

Exposure atmospheres may be divided into six types. These are:

**Heavy Industrial Atmospheres** - These contain general industrial emissions like sulfurous gases, corrosive mists and fumes released from chemical plants and refineries. The most aggressive conditions are often found in places of intense industrial activity where the coating is frequently wetted by rain, snow, and other forms of condensation. In these areas, sulfur compounds can combine with

atmospheric moisture to convert the normally adherent and insoluble zinc carbonates into zinc sulfite and zinc sulfate. These sulfur compounds are water soluble and adhere poorly to the zinc surface. They are removed by rain with relative ease, exposing a fresh zinc surface to additional corrosion. In general, zinc dissipates more when exposed to this type of environment than any other atmospheric environment. Still, the steel corrodes far more slowly in this type of environment when protected by zinc than when just bare steel is used.

**Moderately Industrial Atmospheres** - These environments are similar to those of heavy industrial atmospheric environments but from the standpoint of corrosion, are not quite as aggressive. The amount of emissions in the air may be somewhat lower than that of heavy industrial environments and/or the type of emissions may be less aggressive. Most city or urban area atmospheres are classified as moderately industrial.

**Suburban Atmospheres** - These atmospheres are generally less corrosive than moderately industrial areas and, as the term suggests, are found in the largely residential, perimeter communities of urban or city areas.

**Temperate Marine Atmospheres** - The length of service life of the galvanized coating in marine environments is influenced by proximity



to the coastline and prevailing wind direction and intensity. In marine air, chlorides from sea spray can react with the normally protective, initial corrosion products to form soluble zinc chlorides. When these chlorides are washed away, fresh zinc is exposed to corrosion. Nevertheless, temperate marine atmospheres are usually less corrosive than suburban atmospheres.

**Tropical Marine Atmospheres** - These environments are similar to temperate marine atmospheres except they are found in warmer climates. Possibly because many tropical areas are found relatively far removed from heavy industrial or even moderately industrial areas, tropical marine climates tend to be somewhat less corrosive than temperate marine climates.

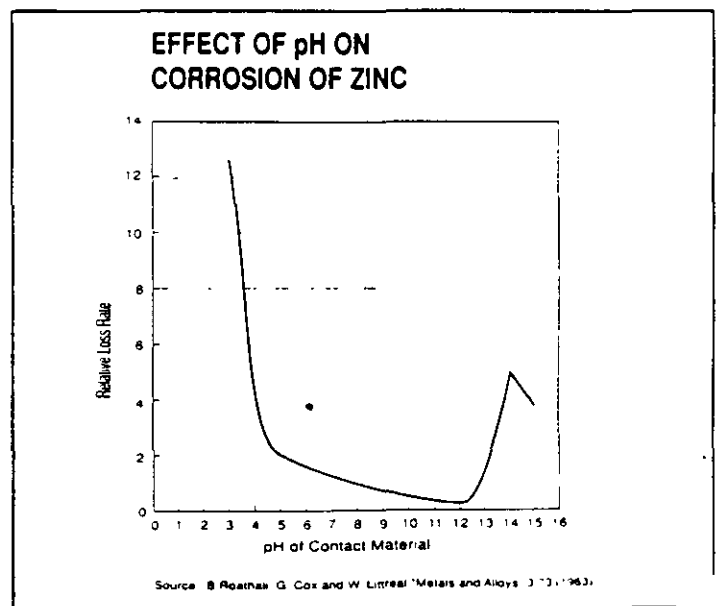
**Rural Atmospheres** - These are usually the least aggressive of the six atmospheric types. This is primarily due to the relatively low level of sulfur and other emissions found in such environments.

## CHEMICAL AND LIQUID ENVIRONMENTS

### pH of the Solution

A primary factor governing the corrosion behavior of the galvanized coating in liquid chemical environments is the pH of the solution. Galvanizing performs well in solutions of pH above 4.0 and below 13.0 (See Figure 15). This should not be considered a hard and fast rule, however, because such factors as agitation, aeration, temperature, polarization, and the presence of inhibitors may also change the rate of corrosion. Within the pH range of about 4.0 to 13.0, a protective film forms on the zinc surface and the galvanized coating protects the steel by slowing corrosion to a very low rate. The exact chemical composition of the protective film is somewhat dependent upon the specific chemical environment.

Figure 15



Since many liquids fall within the pH range of 4.0 - 13.0, galvanized steel containers are widely used in storing and transporting many chemical solutions. Information concerning the specific corrosion behavior of zinc in more than 600 chemical environments is presented in a publica-

tion "Zinc: Its Corrosion Resistance", available from the AGA or your local galvanizer. Figure 16 shows an abbreviated list of some commonly used chemicals that have been successfully stored in galvanized containers.

Figure 16

## SOME CHEMICALS WHICH HAVE BEEN SUCCESSFULLY STORED IN GALVANIZED CONTAINERS

<b>Hydrocarbons</b>	<b>Nitriles (cyanides)</b>	Butyl	butyrate	<b>Amines and Amine Salts</b>
Benzene (benzole)	Diphenylacetoneitrile		sobutyrate	Pyridine
Toluene (toluole)	o-chlorobenzglycyanide		caproate	Pyrrolidine
Xylene (xylol)	<b>Esters</b>		propionate	Methylpiperazine
Cyclohexene	Allyl butyrate		succinate	Dicarbethoxypiperazine
Petroleum ethers	caproate		titanate *	1-benzhydryl-4-methylpiperazine
Heavy naphtha	formate	Propyl	butyrate	2,4-diamino-5-(4-chlorphenyl-6)
Solvent naphtha	propionate		isobutyrate	ethylpyrimidine
<b>Alcohols</b>	Ethyl butyrate		caproate	Hydroxyethylmorpholine
Methyl parafynol	sobutyrate		formate	(hydroxyethyldiethylenimideoxide)
(methyl pentynol)	caproate		propionate	p-aminobenzenesulphonylguanidine
Morpholinisopropanol	caprylate	Iso-	benzoate	Butylamine oleate
Glycerol (glycerin)	propionate	Butyl	butyrate	Piperazine hydrochloride
<b>Halides</b>	succinate		caproate	monohydrate
Carbon tetrachloride	Amyl butyrate	Iso-	benzoate	Carbethoxypiperazine
Amyl bromide	sobutyrate	Propyl	caproate	hydrochloride (dry)
Butyl bromide	caproate		formate	<b>Amides</b>
Butyl chloride	caprylate		propionate	Formamide
Cyclohexyl bromide	Methyl butyrate	Cyclonexyl	butyrate	Dimethylformamide
Ethyl bromide	caproate		* and other unspecified titanates	<b>Miscellaneous</b>
Propyl bromide	propionate		<b>Phenols</b>	Glucose (liquid)
Propyl chloride	succinate	Phenol		Benzilideneacetone
Trimethylene bromide	Benzyl butyrate	Cresols (methylphenols)		p-chlorbenzophenone
(1,3-dibromopropane)	sobutyrate	Xylenols (dimethylphenols)		Sodium azobenzenesulphonate
Bromobenzene	propionate	Biphenol (dihydroxybiphenyl)		Melamine resin solutions
Chlorobenzene	succinate	2,4-dichlorophenol		Crude cascaça extract
Aroclors & Pyroclors	Octyl butyrate	p-chloro-o-cresol		Creosote
(chlorobiphenyls)	caproate	Chloroxylenols		Chlorofluorocarbons

- 0.025 mm  
0.025 mm

## Fresh Water

Galvanizing is successfully used to protect steel in fresh water exposure. "Fresh water" is used loosely here to refer to all forms of water, except sea water. Fresh water may be classified according to its origin or application. Included are hot and cold domestic, industrial, river, lake, and canal waters. Corrosion of zinc in fresh water is a complex process that is controlled largely by the impurities found in the water. Even rain water contains oxygen, nitrogen, carbon dioxide, and other dissolved gases in addition to dust and smoke particles.

Ground water carries microorganisms, eroded soil, decaying vegetation, dissolved salts of calcium, magnesium, iron, and manganese and suspended colloidal matter. All of these substances and other factors such as pH, temperature, and motion affect the structure and composition of the corrosion products formed on the exposed zinc surface. Relatively small differences in fresh water content or conditions can produce relatively substantial changes in corrosion products and rate. Thus, there is no simple rule or set of rules governing the corrosion rate of zinc in fresh water.

Water with relatively high free oxygen or carbon dioxide content is more corrosive than water containing less of these gases. Hard water is much less corrosive toward zinc than soft water. Under conditions of moderate or high water hardness, a narrow scale of insoluble salts tends to form on the galvanized surface. These combine with zinc to

**CORROSION OF ZINC COATED STEEL  
IN SELECTED NATURAL FRESH WATERS**

Location and water	Type of Zinc	Type of test	Agitation	Corrosion rate Mil./year
Gatun Lake - Canal Zone Tropical fresh water	Intermediate	Immersion	Stagnant	0.32
Gatun Lake - Canal Zone Tropical fresh water	Intermediate	Immersion	Stagnant	0.41
Pedro Miguel locks Panama - Fresh water	Special high grade	Immersion	—	0.71
Pedro Miguel locks Panama - Fresh water	High grade	Immersion	—	0.53
Pedro Miguel locks Panama - Fresh water	Intermediate	Immersion	—	0.44
Pedro Miguel locks Panama - Fresh water	Select	Immersion	—	0.55
Pedro Miguel locks Panama - Fresh water	Prime Western	Immersion	—	0.53
River water Hardness 7.6°(German)	99% zinc	Immersion Lab	Still	0.56
River water Hardness 7.6°(German)	99% zinc	Immersion Lab	Still	0.24

Figure 17

form a protective barrier of calcium carbonate and basic zinc carbonate. Figure 17 indicates the service life of galvanized steel in various waters.

## Sea Water

Galvanized coatings provide considerable protection to steel when immersed in sea water and exposed to salt spray. The factors that influence the corrosion of zinc in fresh water also apply to sea water. However, it is the dis-

solved salts (primarily sulfides and chlorides) in sea water that are the principal determinants of the corrosion behavior of zinc immersed in sea water. Given the high level of chloride in sea water, a very high rate of zinc corrosion might be expected. However, the presence of magnesium and chloride ions in sea water have a strong inhibiting effect on zinc corrosion in this type of environment. One should be very skeptical of accelerated laboratory test results that sometimes use a simple sodium chloride (NaCl) solution to "simulate" the effects of sea water exposure on galvanized steel. Real world results may differ significantly from accelerated laboratory tests.

## Soils

More than 200 different types of soils have been identified and are categorized according to texture, color, and natural drainage. Coarse textured soils, like gravel and sand, permit free circulation of air and the process of corrosion may closely resemble atmospheric corrosion. Clay and silt soils have a fine texture and hold water resulting in poor aeration and drainage. The corrosion process in such soils may resemble the corrosion process in water.

The National Bureau of Standards has conducted an extensive research program on the corrosion of metals in soils. Some of their research on galvanized steel pipe dates back to 1924. The results shown in Figure 18 are based on studies started in 1937 using 1 1/2" (38mm) steel pipe with a 3 oz. per square foot (5.3 mil) zinc coating. The table

shows annual metal loss in ounces per square foot in a number of soils tested. Data collected (but not displayed here) also show that the galvanized coating will prevent pitting of steel in soil, just as it does under atmospheric exposure, and that even in instances where the zinc coating was completely consumed, the corrosion of the underlying steel was much less than that of bare steel specimens exposed under identical conditions.

Figure 18

### CORROSION OF GALVANIZED STEEL PIPE IN CONTACT WITH A VARIETY OF SOILS

Nominal weight of coating - 3 oz/sq ft (915g/m<sup>2</sup>) of exposed area (a)

SOIL TYPE	WEIGHT LOSS (OZ/FT. AFTER BURIAL PERIOD)			
	2 1/2 years oz./ft. 2	4 1/2 years oz./ft. 2	6 1/2 years oz./ft. 2	8 1/2 years oz./ft. 2
<b>INORGANIC OXIDIZING ACID SOILS</b>				
Dark clay loam	2.3	3.4	2.6	3.5
Medium loam	2.3	3.2	2.7	3.7
Subsiding clay	2.2	2.3	2.9	3.3
<b>INORGANIC OXIDIZING ALKALINE SOILS</b>				
Dark silty loam	1.1	2.1	3	
Medium fine gravelly loam	1.6	3.3	1.1	
<b>INORGANIC REDUCING ACID SOILS</b>				
Shaly clay	2.6	3.5	2.2	
Acidic clay	3.3		4.8	
<b>INORGANIC REDUCING ALKALINE SOILS</b>				
Doodad clay	3.2	3.6	3	3.3
Medium silty loam	2.1	4.3	2	3.2
Lake Charles clay	3.1	3.3	5.5	3.8
<b>ORGANIC REDUCING ACID SOILS</b>				
Clay loam	2.2	3.4	3.2	3.4
Clay marsh	2.2	2.1	2.7	4.9
Muck	4.3	3.4	3.3	2
Peat bog	4.3	2.2	3.4	3.6
<b>CONDENSERS</b>				
Coconut	5.1	5.4	5.9	6.4

(a) This is weight of coating on one side of the pipe - 1 oz sq ft (305 g m<sup>2</sup>) is equivalent to approximately 1.72 mil (43.7 um) thickness of coating

## Concrete

Concrete is an extremely complex material. The use of various types of concrete in construction has made the chemical, physical, and mechanical properties of concrete, and its relationship to metals, a topic of ongoing study. Steel wire or reinforcing bars are often embedded in concrete to provide added strength. *(for tension)*

Rebar can be galvanized to retard corrosion. **Galvanized rebar provides barrier and sacrificial protection for the reinforcing steel.** As the corrosion products of zinc are much less voluminous than those of steel, the cracking, delamination and spalling cycle is eliminated or, at least reduced. **Laboratory data support and field test results confirm that reinforced concrete structures exposed to aggressive environments have a substan-**

**tially longer service life when galvanized rebar is used, as opposed to bare steel rebar. Additional studies are available through the AGA or your local galvanizer.**

**The bond strength between galvanized rebar and concrete is excellent.** It often takes slightly longer to develop than the bond between bare rebar and concrete but **the bond between galvanized rebar and concrete is, according to laboratory and field tests, in fact stronger than the bond between bare rebar and concrete** (See Figure 19).

Information about the uses of and behavior of galvanized reinforcement in concrete can be found in "Galvanized Reinforcement for Concrete - II", available from the AGA or your local galvanizer.

*400 tons of galvanized rebar protect this bridge deck on the Schuylkill River Expressway in Philadelphia*

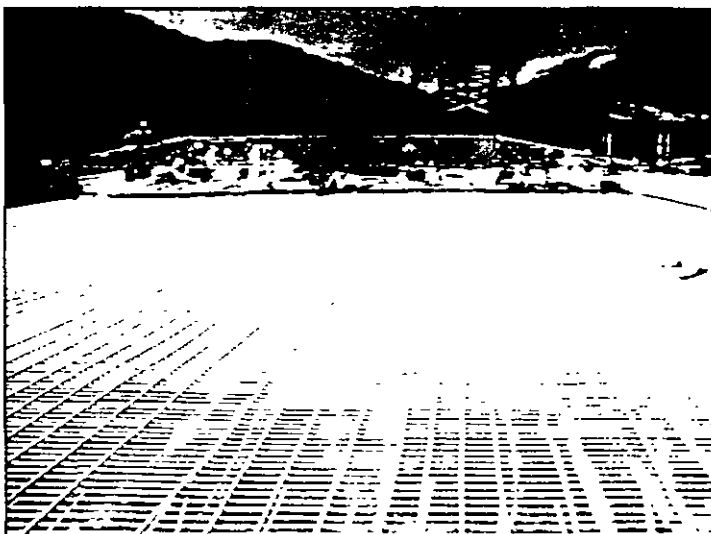
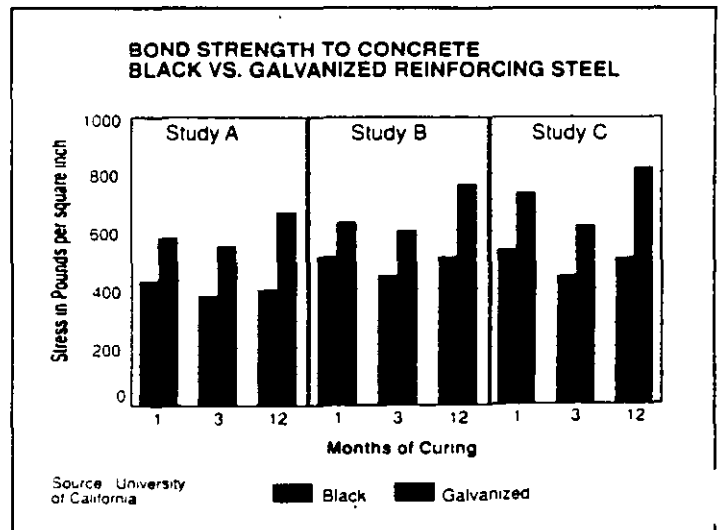


Figure 19



## COMPARISON OF EPOXY COATED AND HOT DIP GALVANIZED REINFORCING

COMMENT	EPOXY COATED	HOT DIP GALVANIZED
1. Earliest use	1977	Early 1900's
2. Requires care in handling	Yes	No
3. Can be dragged on ground	No	Yes
4. MUST be touched up	Yes	No
5. Has barrier protection	Yes	Yes
6. Has cathodic protection	No	Yes
7. Bond strength to concrete	Poor	Excellent
8. UV Resistance	Questionable	Good
9. After fabrication application	Difficult	Simple
10. Widely used	Yes	Yes
11. Cost	Comparable *	Comparable
12. Lead time ?	3 weeks	1-3 days
13. Availability of coating for other embedded items	Scarce	Readily available

\* Epoxy prices vary widely throughout U.S. and Canada and wide variations should be expected.

### Other Metals

Where zinc comes in contact with another metal under atmospheric or aqueous conditions, the potential for corrosion through a bimetallic couple exists. The extent of the corrosion will depend upon the position of the other metal relative to the zinc in the galvanic series.

If an installation requires contact between galvanized

materials and copper or brass, in a moist or humid environment, rapid corrosion may occur. Even run-off water from copper or brass surfaces can contain enough dissolved copper to cause rapid corrosion. If the use of copper or brass in contact with galvanized items is unavoidable, precautions should be taken to prevent electrical contact between the two metals. Joint faces should be insulated with non-conducting gaskets and connections should be made with

# R ESISTANCE

Figure

## ADDITIONAL CORROSION OF ZINC AND GALVANIZED STEEL RESULTING FROM CONTACT WITH OTHER METALS

METAL IN CONTACT	ENVIRONMENT				
	ATMOSPHERIC			IMMERSED	
	RURAL	INDUSTRIAL	URBAN	FRESH WATER	SEA WATER
Aluminum and aluminum alloys	0	0 to 1		1	1 to 2
Aluminum bronzes and silicon bronzes	0 to 1	1		1 to 2	2 to 3
Brasses including high tensile (HT) brass (manganese bronze)	0 to 1	1		1 to 2	2 to 3
Cadmium	0	0		0	0
Cast irons	0 to 1	1		1 to 2	2 to 3
Cast iron (austenitic)	0 to 1	1		1 to 2	1 to 3
Chromium	0 to 1	1 to 2		1 to 2	2 to 3
Copper	0 to 1	1 to 2		1 to 2	2 to 3
Cupro-nickels	0 to 1	0 to 1		1 to 2	2 to 3
Gold	(0 to 1)	(1 to 2)		(1 to 2)	(2 to 3)
Gunmetals phosphor bronzes and tin bronzes	0 to 1	1		1 to 2	2 to 3
Lead	0	0 to 1		0 to 2	(0 to 2)
Magnesium and magnesium alloys	0	0		0	0
Nickel	0 to 1	1		1 to 2	2 to 3
Nickel-copper alloys	0 to 1	1		1 to 2	2 to 3
Nickel-chromium-iron alloys	(0 to 1)	(1)		(1 to 2)	(1 to 3)
Nickel-chromium-molybdenum alloys	(0 to 1)	(1)		(1 to 2)	(1 to 3)
Nickel silvers	0 to 1	1		1 to 2	1 to 3
Platinum	(0 to 1)	(1 to 2)		(1 to 2)	(2 to 3)
Rhodium	(0 to 1)	(1 to 2)		(1 to 2)	(2 to 3)
Silver	(0 to 1)	(1 to 2)		(1 to 2)	(2 to 3)
Solders hard	0 to 1	1		1 to 2	2 to 3
Solders soft	0	0		0	0
Stainless steel (austenitic and other grades containing approximately 18% chromium)	0 to 1	0 to 1		0 to 2	1 to 2
Stainless steel (martensitic grades containing approximately 13% chromium)	0 to 1	0 to 1		0 to 2	1 to 2
Steels (carbon and low alloy)	0 to 1	1		1 to 2	1 to 2
Tin	0	0 to 1		1	1 to 2
Titanium and titanium alloys	(0 to 1)	(1)		(1 to 2)	(1 to 3)

Key 0 Zinc and galvanized steel will suffer either no additional corrosion or at the most only very slight additional corrosion, usually tolerable in service.

1 Zinc and galvanized steel will suffer slight or moderate additional corrosion which may be tolerable in some circumstances.

2 Zinc and galvanized steel may suffer fairly severe additional corrosion and protective measures will usually be necessary.

3 Zinc and galvanized steel may suffer severe additional corrosion and the contact should be avoided.

General notes: Ratings in brackets are based on very limited evidence and hence are less certain than other values shown. The table is in terms of additional corrosion and the symbol 0 should not be taken to imply that the metals in contact need no protection under all conditions of exposure.

Source: British Standards Institution pp. 6484 1979 Table 23.

insulating grommet type fasteners. The design should insure that water is not recirculated and that water flows from the galvanized surface towards the copper or brass surface and not the reverse.

Under atmospheric conditions of moderate to mild humidity, contact between a galvanized surface and aluminum or stainless steel is unlikely to cause substantial incremental corrosion. However, under very humid conditions, the galvanized surface may require electrical isolation through the use of painting or joining compounds.

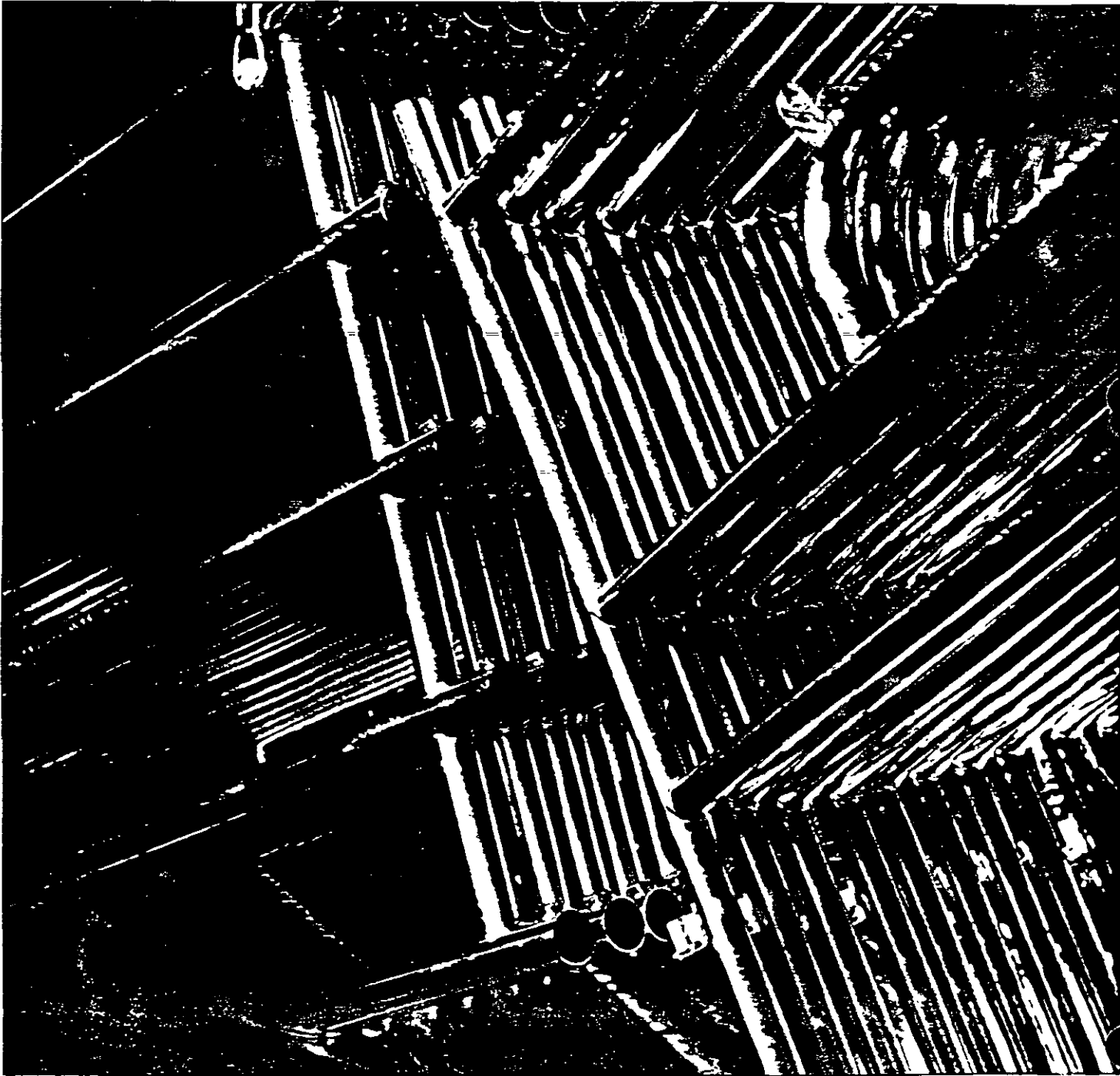
The galvanic behavior of galvanized coatings in contact with various metals in atmospheric and immersion environments is summarized in Figure 20.



---

# A PPLICATIONS

---



## PRACTICAL USES OF GALVANIZED STEEL



C

Corrosion of exposed steel has been shown to be a major problem. Galvanizing has been shown to be a solution to the problem. The previous chapters have explained the corrosion process, how galvanized coatings prevent corrosion, how galvanized coatings are produced, and how well they stand up to corrosion. The remainder of this book is dedicated to the demonstration of galvanizing in specific, real-world applications.

Specific applications that will be reviewed are:

- Bridges and Highways
- Power Generation, Transmission, and Distribution
- Transportation

- Water and Waste Water Treatment
- Buildings
- Agriculture and Food Processing
- Petrochemical and Chemical
- Pulp and Paper
- Original Equipment Manufacturing

In each area, there will be a description of the specific benefits of galvanizing, a list of actual and potential uses of galvanizing, and photographs of current applications. Additional detailed information on the use of galvanizing for corrosion protection in these and other applications is available from the AGA or your local galvanizer.

# A APPLICATIONS

## BRIDGES AND HIGHWAYS

Steel has and will continue to dominate the bridge market as the principal construction material. Its strength to weight ratio is unmatched by any alternative material. Steel does however have one significant problem in bridge applications: corrosion. Steel is constantly exposed to weather, deicing chemicals, and atmospheric pollutants and must be protected. Galvanizing has been successfully used in preventing corrosion in bridges since the mid-1800s. Since the early 1960s, galvanizing has been used to protect all structural and miscellaneous components of bridges.

An early well-known application for galvanizing is the support cables for the Brooklyn Bridge. Galvanizing has provided corrosion protection in these cables for more than 100 years. Although this is probably the oldest application of galvanizing in the bridge industry, there are tens of thousands of other applications throughout North America. The state of Ohio alone has more than 100 bridges that are fully galvanized, i.e., all structural and miscellaneous components of the bridge are hot dip galvanized. Fully galvanized bridges are located throughout Canada, Michigan, Kentucky, Illinois, Connecticut, Indiana, and in the salt-laden atmosphere of Bermuda. From simple culvert bridges, to highway guardrail, to pedestrian overpasses, to light poles and sign posts, galvanizing has proven its ability to successfully protect steel from corrosion in the aggressive atmosphere of bridges and highways. Galvaniz-

ing is competitive in initial cost and will significantly minimize future maintenance costs.

When maintenance is required on a galvanized structure (typically 20 - 30 years after installation), the maintenance procedure is less expensive and easier to implement. The galvanized surface requires only washing to be a perfect base for future paint applications. Blasting with its attendant problems is not required. The galvanized surface is an excellent base for future paint systems extending the anticipated life of the paint system by 1 1/2 - 2 times.

Bridges up to 900 feet long have been fully galvanized. The first known fully galvanized bridge in North America was built in Quebec, Canada: the 400 foot Lizotte Bridge. Galvanizing has provided cost-effective corrosion protection and maintenance-free service for the Lizotte Bridge since 1963. The Kinki Expressway in Japan is a 1 1/2 mile, 100 foot wide bridge utilizing 3000 tons of galvanized steel for long-term corrosion protection. The Schuylkill Expressway in Philadelphia utilizes galvanized reinforcing steel in its decks.

The following list gives an idea of a few of the thousands of bridge and highway applications of galvanizing. It represents actual, tried, tested, and proven applications in use throughout North America. Galvanizing is the workhorse coating in the bridge and highway corrosion prevention market. Its unique advantages offer significant proven cost-effective corrosion protection.

## Bridges and Highways

### Bridge Super Structure

Anchor Bolts  
 Anti-Suicide Rail  
 Base Plates  
 Bearing Assemblies  
 Bearing Plates  
 Bolts  
 Box Rail  
 Bridge Rail  
 Cable Connectors  
 Cables  
 Channel Shear Connectors  
 Cross-Bracing  
 Curb Angles  
 Diaphragms  
 End Dams  
 Expansion Dams  
 Finger Joint Expansion Dams  
 Flooring Grid  
 Floor Gratings  
 Girders  
 Guardrail  
 Guardrail Posts  
 Inspection Catwalks  
 Jersey Barrier Embedments  
 Light Poles  
 Pipe Supports  
 Pipe Railing  
 Piping  
 Pot Bearings  
 Pour-In-Place Forms  
 Reinforcing Splice Clips  
 Reinforcing Steel  
 Scuppers and Drains  
 Shear Studs  
 Sign Supports  
 Signal Light Poles  
 Spiral Shear Connectors  
 Splice Plates  
 Steel Divider Barrier  
 Stringers  
 Trench Drains

### Bridge Sub Structure

Access Doors  
 Bin-Type Retaining Walls  
 Bolts  
 Catwalks  
 Drainage Supports  
 Drainage Systems  
 Driven Pilings  
 Fencing  
 Ground Anchors  
 Ladders  
 Pier Pilings  
 Reinforcing Splice Clips  
 Reinforcing Steel  
 Retaining Walls  
 Sheet Piling  
 Sign Supports

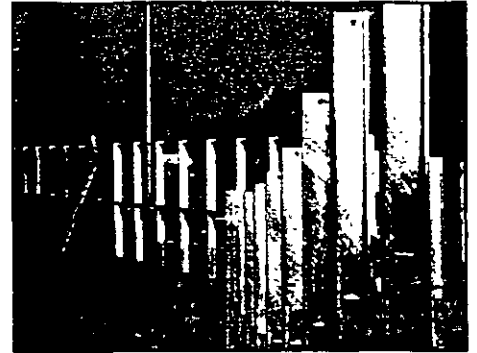
### Temporary Bridges

Complete "Bailey Bridge" Structures  
 Insert Modules

### Highways

Anchor Bolts  
 Anti-Suicide Rail  
 Base Plates  
 Box Rail  
 Breakaways  
 Culverts  
 Curb Angles  
 Delineators  
 Fencing  
 Gates  
 Guardrail  
 Guardrail Posts  
 Jersey Barrier Embedments  
 Light Poles  
 Overhead Sign Supports  
 Pedestrian Overpass Bridge  
 Pipe Railing  
 Reinforcing Steel  
 Scuppers and Drains  
 Sign Supports  
 Signal Supports  
 Signal Light Poles  
 Sound Barriers  
 Steel Divider Barriers  
 Trench Drains

*Galvanized Sound Barrier*



*Fully Galvanized Lizotte Bridge*



*Galvanized light poles*



## POWER GENERATION, TRANSMISSION, AND DISTRIBUTION

Galvanizing has seen common use in the power industry for over 50 years. The galvanized lattice tower or galvanized substation structure has been in use by the Tennessee Valley Authority since the mid-1930s. At the Clinch River substation completed in 1936, galvanizing has provided complete corrosion protection of all steel structures. A recent inspection indicated first maintenance would be required in the year 2015. This means the Tennessee Valley Authority will have 70 years of service with no maintenance costs. The galvanized substation has been the standard in the power industry. Galvanizing has proved to be the maintenance-free coating. Power companies are now looking at regalvanizing of substations as a cost-effective means of future corrosion protection.

Hydroelectric power generation requires that steel be protected from the corrosive attack of water. Dam gates, trash racks, trash booms, and related equipment all must be made of steel. Galvanizing of these structures has been regularly utilized with excellent results. Galvanizing has been shown to provide long-term protection for steel when exposed to fresh water. Small hydro projects must operate unattended for long periods of time. It is essential that the operators have confidence that the steel used in construction be reliably protected from corrosion.

In cogeneration applications, most companies are striving

to control maintenance costs. Galvanizing of conveyors, support steel, and other exposed steel structures makes good economic sense. With the demonstrated 40+ year life of galvanizing in these applications, it is possible that no maintenance will be required during the design life of many of these cogeneration facilities.

Thousands of galvanized transmission towers are installed every year because they have proved themselves to be a reliable, durable, and cost-effective way to transmit power. Galvanized towers built in the 1940s are still serving utility companies as effectively as the day they were first installed.

In alternate energy production where maintenance costs must be minimized, galvanizing has seen extensive use. Poles supporting wind turbines have been galvanized. The support steel for photovoltaic cells and solar hot water systems are regularly galvanized to minimize the future cost of maintaining the facility.

When maintenance is finally required, the galvanized surface is one that is simple and easy to prepare for regalvanizing or painting. The list on the next page gives a sample of known applications of galvanizing in the power industry. Each item has been consistently and successfully used over the last 50 years. This list shows the most common uses of galvanizing in the power industry.

# A PPLICATIONS

## Power Generation

### Buildings

Beams  
Brick Ties  
Brick Ledges  
Columns  
Dock Levelers  
Equipment Supports  
Girts  
HVAC Supports  
Lintels  
Overhead Cranes  
Purlins  
Relieving Angles  
Roof Hatches  
Structural Steel

### Yard Equipment

Bollards  
Bridges  
Catwalks  
Coal Handling Equipment  
Conveyor Supports  
Corner Guards  
Cranes  
Fencing  
Flagpole  
Gates  
Guardrail  
Guardrail Posts  
Hopper Structures  
Ladders  
Mechanical Screens  
Pipe Supports  
Pipe Bridges  
Railings  
Reinforcing Steel  
Sheet Piling  
Sign Supports  
Steel Stairs  
Steel Grating  
Trench Covers  
Truck Scale  
Truck Lifts  
Valve Stands

## Power Transmission and Distribution

Anchor Bolts  
Bollards  
Concrete Embedded Reinforcement  
Electrical Boxes  
Equipment Supports  
Faraday Cages  
Fasteners  
Fencing  
Gates  
Handrail  
Ladders  
Lattice Towers  
Light Poles  
Light Brackets  
Pole Arms  
Posts  
Sign Supports  
Steel Stairways  
Transmission Poles  
Tubular Towers  
Walkways

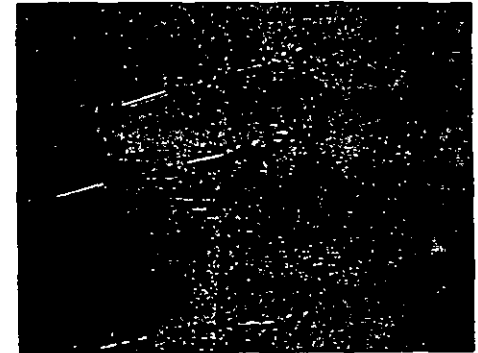
## Other Power Generation

(Natural Gas, Hydroelectric, Solar, Wind)  
Anchor Bolts  
Equipment Supports  
Fencing  
Fish Ladders  
Flood Control Gates  
Flow Restrictors  
Gas Turbine Skids  
Generator Housings  
Generator Support Platforms  
Light Poles  
Penstock  
Platforms  
Railings  
Reinforcing Steel  
Sheet Piling  
Solar Panel Backs and Supports  
Solar Control Boxes  
Tower Ladders  
Tower Supports  
Trash Racks and Booms  
Wind Mill Towers

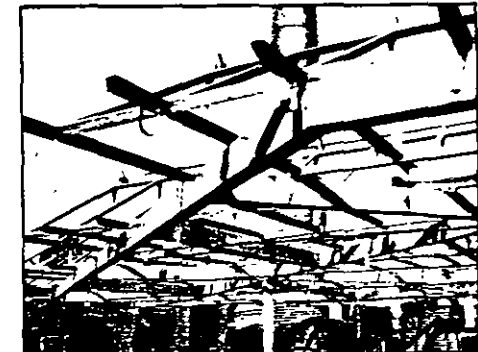
*Galvanized steel in substation*



*Galvanized transmission tower*



*Galvanized structural panels for solar energy*



## TRANSPORTATION (Rail, Rapid Transit, Marine, Air)

"Hot dip galvanizing has durability. Really lasts a long time without maintenance" stated an engineering manager from the Bay Area Rapid Transit system.

Hot dip galvanizing has been shown to be a cost-effective corrosion protection system in many areas of the North American transportation industry. Recent analyses has shown the first cost of galvanizing to be cost competitive with a high performance three coat paint system.

In 1963 in Galveston, Texas, a salt water marina consisting of four structures, each 945 feet long was constructed with galvanized steel. At the 20th anniversary, inspection showed that the zinc coating thickness was well above minimum thickness requirements. The majority of the steel columns are 11" to 40" above salt water and are all subject to wind-blown salt spray.

Sacramento, California is completing its light rail transit system. It is believed to be the least expensive per mile system, built with U.S. federal funds. The low initial cost was aided by the use of over 900 tons of galvanized steel power distribution poles.

In the 1970s when Logan International Airport expanded its parking, galvanized reinforcing was specified for all poured concrete in the new parking deck. In 1990 at Philadelphia's International Airport, galvanized reinforcing

was used in the ramps of the new parking terminal. The designer of the Philadelphia project, when asked for an opinion of galvanizing, stated, "it's the most cost-effective, quality-assured product that I can use."

In Vancouver, British Columbia, the transit system made extensive use of galvanizing in its new rail car-wash facility. Electrification equipment, retaining walls, track guide hardware, and pedestrian overpasses were all galvanized.

Even fun transit is often galvanized as can be seen at Disneyland's Splash Mountain™ amusement ride. In this ride, all steel structures exposed to the weather and the water was specified for galvanizing by the Disney Imagineering group.

Boston's Massachusetts Bay Transportation Authority (MBTA) has made extensive use of duplex (galvanizing with a topcoat) systems in its various transit stations. The MBTA insisted on galvanizing for long-term protection of steel and also wanted a color to match station color coding. The duplex system provides the long-term protection of galvanizing with the aesthetics of a topcoat.

The list on the next page includes selected applications in this industry. By its nature, transportation systems include large amounts of exposed steel that require corrosion protection. Galvanizing has been shown to be cost-effective in the transportation industry.

# A PPLICATIONS

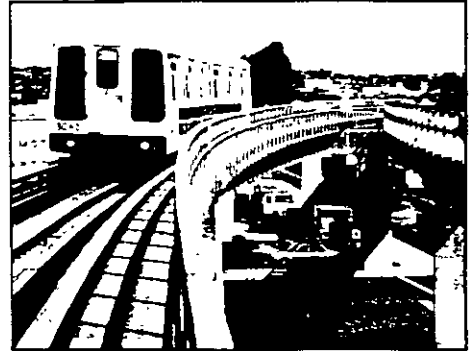
## Transportation

(Rail, Rapid Transit, Marine, Air)

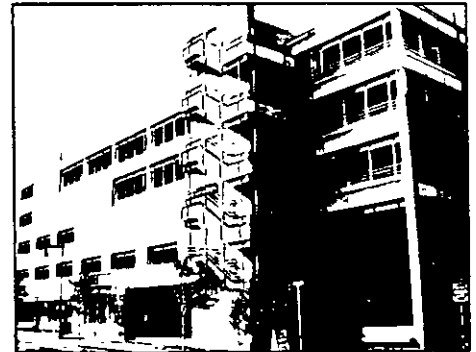
Advertising Shelters  
Anchor Bolts  
Anchorage Clips  
Baggage Conveyor Supports  
Ballast Stops  
Bearing Plates  
Benches  
Bicycle Racks  
Bollards  
Brick Ties  
Brick Ledges  
Building Trim  
Bulk Heads  
Cable Trays  
Canopy Supports  
Catenaries  
Catwalks  
Crash Barriers  
Curb Angles  
Decorative Emblem Supports  
Dock Bumpers  
Drain Pipes  
Drains  
Edge Angles  
Electrical Panels  
Electrical Boxes  
Electrical Substation Framing  
Exterior Stairs  
Exterior Stairway Systems  
Fencing  
Flagpole  
Floor Grating  
Fountain Accessories  
Gang Planks  
Guide Rail  
Hand Rails  
Handicap Rail  
Hangers  
Ladders  
Leveling Plates  
Light Poles  
Light Fixtures  
Lightning Rods  
Lintels  
Manhole Covers  
Map/Sign Supports  
Mesh

Ornamental Fencing  
Ornamental Steel  
Pilings  
Pipe Sleeves  
Post and Chain Fence  
Pre-Engineered Building Exteriors  
Precast Hardware  
Railings  
Reinforcing Steel  
Relieving Angles  
Roof Hatches  
Scuppers  
Signal Structures  
Signal Equipment  
Signal Bridges  
Sound Barriers  
Stair Tread  
Structural Support Steel  
Tie Toe Plates  
Trash Containers  
Tree Guards  
Tree Grates  
Tunnel Liners  
Utility Covers  
Utility Grates  
Vehicle Washing Equipment  
Walkway Structures  
Window Wall Supports  
Window Washing Rails

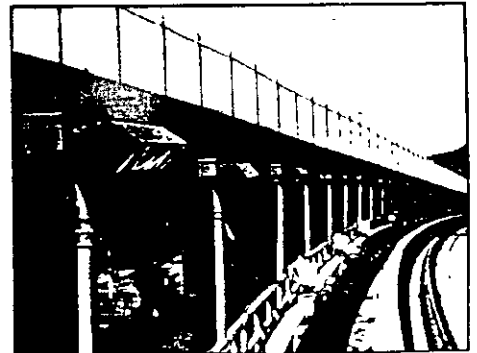
*Galvanized steel has been used extensively throughout Vancouver's light rapid transit system*



*Parking garage with 100% of structural steel galvanized*



*Galvanized components serve San Francisco Bay Area Rapid Transit system*





## WATER AND WASTE WATER TREATMENT

In 1938, Baltimore's Black River Waste Treatment Plant was opened with galvanized weirs in settling tanks. The same weirs are still in operation 50 years later. The galvanized filter trickling system installed in 1950 has also enjoyed virtual maintenance-free service.

Waste water facilities and water treatment facilities have several significant corrosion potentials. Steel is often immersed in potable or effluent water, subject to splashing and fumes from tanks, exposed to acids and caustics, normally exposed to the weather, extreme moisture, and humidity. Steel in this service must have a long-term reliable, corrosion protection system. Galvanizing has been shown in actual field applications to provide superior protection to all steel, structural and sub-structural items.

As more sophisticated treatment facilities are developed, galvanizing will see significantly greater service. Composting of sludge is now becoming a routine part of the treatment procedure. Galvanizing in actual field applications has been shown to effectively combat the high moisture conditions present in these facilities. In Portland, Maine, a fully galvanized composting building was built in the 1970s. The operating engineer has described it as being in as good a shape today as it was when it was built. The entire steel framework of the composting building was galvanized including columns, beams, purlins, and girts.

Reinforcing steel has been used successfully in concrete digester tanks. In 1962, the Point Loma Sewage Treatment Facility in San Diego started up 4 digesters of 4 million gallons each. Subsequent inspections have shown galvanized reinforcing to be performing exceptionally well. One company alone in the 1980s had completed over 170 concrete tanks using galvanized reinforcing.

Galvanized railings totalling as much as 5 miles in some plants have been used due to the cost-effectiveness of both initial installation and long-term application. Galvanized railings are simple to maintain, long-lasting, and cost effective. Initial installations of galvanized railings have been shown to save 30% or more of the cost of other railing systems.

Field maintenance of galvanized materials is simple. The galvanized item can be field welded without zinc removal with effective repairs made by three different methods. If there is damage to galvanized coatings, repair can be made by zinc sticks, zinc-rich paint, or zinc metallizing. Painting of galvanized steel in the field to allow for safety color marking has been successfully applied using several different paint systems. For detail on painting of galvanized steel, contact the AGA or your local galvanizer.

The list on the next page shows a variety of galvanized items currently being used in water and waste water treatment facilities. It represents only a partial listing of items that could and should be galvanized in this industry.

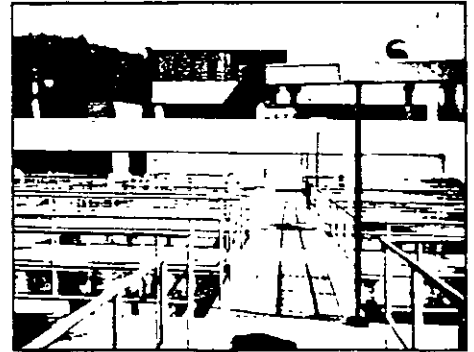
# A PPLICATIONS

## Water and Waste Water Treatment

Aeration Tanks  
Aerators  
Anchor Bolts  
Angles  
Basin Wear Plates  
Beams  
Bollards  
Brick Ledges  
Brick Ties  
Bridges  
Catwalks  
Channel Iron  
Columns  
Composting Equipment  
Composting Conveyors  
Conduit  
Conveyor Supports  
Dock Levelers  
Embedded Frames  
Fencing  
Flagpole  
Floor Gratings  
Floor Plates  
Gates  
Girts  
Grit Chambers  
Guardrail  
Guardrail Posts  
Guide Rail  
HVAC Platforms  
Ladders  
Light Poles  
Lintels  
Mechanical Screens  
Moving Structures  
Overhead Bridge Cranes  
Overhead Trusses  
Pipe Bridges  
Pipe Supports  
Piping Hangers  
Piping Rods  
Precast Veneer Hardware  
Purlins  
Reinforcing Steel  
Relieving Angles  
Scum Baffle  
Scum Well  
Skimmer

Steel Stairs  
Steel Doors  
Steel Column Beams  
Steel Retaining Walls  
Steel Frames  
Steel Grating  
Structural Steel  
Transmission Towers  
Truck Scale  
Valve Stands  
Weirs

*Galvanized grating and handrail*



*Galvanized weirs*



*Galvanized tower supports*



## BUILDINGS

From the 100 story skyscraper to the underground parking garage, buildings have many applications for galvanizing.

All buildings have certain common elements. They must be structurally sound, they must be functional for their intended purpose, and they must look nice. Galvanizing can assist in providing all three requirements.

Galvanized steel is often found in HVAC support equipment. It is found in beams and columns in pre-engineered buildings. It may be found in lintels and masonry supports in brick buildings, and is frequently found in balcony and handicap railings.

Galvanizing's protection against corrosion ensures that the specifier's design will have the full strength of the structure's materials. Galvanizing has been used to enhance the aesthetic appeal of many buildings. In the newly refurbished Union Station in Washington, D.C., galvanized panels adorn the walls of the Food Court as lighting fixtures and signs.

The exposed trusswork of the Baltimore-Washington International Airport is protected for decades to come by the use of hot dip galvanizing. Here the material received a duplex coating to provide long-term protection and aesthetic appeal.

Galvanizing minimizes costly building repairs which reduce the functionality of the building to its owner. A lintel

that must be replaced may put an office out of use for weeks at a time. By galvanizing lintels, replacement during the life of the building will not be required.

The underground parking garage is a particularly hostile atmosphere to steel. It is damp and subject to automotive fumes. Unprotected steel will not last. Galvanized steel has performed for 30 years or more with no maintenance. Galvanized reinforcing steel is extensively used in building structures such as parking garages, swimming pools, and other building structures. At the U.S. Department of Housing and Urban Development's headquarters building in Washington, D.C., all reinforcing steel less than 2 inches from the surface is hot dip galvanized in accordance with ASTM A 123.

The handsome exterior of the IBM Data Processing Division headquarters at White Plains, New York is protected by hot dip galvanized reinforcing bar embedded in the precast concrete panels. Reinforcing steel used in the refurbishing of the seating sections of Wrigley Field in Chicago was specified to be hot dip galvanized to prevent deterioration caused by continuous exposure to the elements.

The following list gives an example of the multitude of applications of galvanizing in building structures. The combined advantages of cost effectiveness and durability make galvanizing an excellent choice in providing corrosion protection of steel in building structures

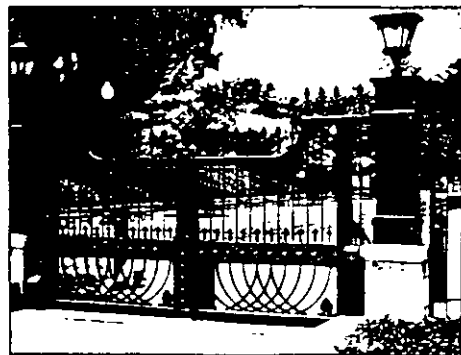
# A PPLICATIONS

## Buildings

Anchor Bolts  
Anchoring Clips  
Architectural Panels  
Attachment Devices  
Atrium Supports  
Balcony Rails  
Beams  
Benches  
Bicycle Racks  
Bleacher Supports  
Brick Ties  
Brick Ledges  
Building System Frames  
Canopy Supports  
Catwalks  
Columns  
Crash Barriers  
Curb Angles  
Drain Pipes  
Drains  
Embedments  
Equipment Screens  
Fascia Support Steel  
Fencing  
Fire Escapes  
Flag Poles  
Foot Bridges  
Fountain Accessories  
Garage Support Steel  
Gates  
Girts  
Grating  
Handicap Railings  
Hatches  
HVAC Supports  
Integrated Steel Anchors  
Ladders  
Leveling Plates  
Light Poles  
Light Fixtures  
Lightning Rods  
Lintels  
Louvers  
Manhole Covers  
Metal Sculptures  
Ornamental Steel  
Pipe Bollards  
Pipe Hangers  
Playground Equipment

Post and Chain Fence  
Precast Hardware  
Purlins  
Railings  
Relieving Angles  
Roof Trusses  
Scuppers  
Security Gates  
Sign Posts  
Stadium Seating  
Stair Stringers  
Sun Screens  
Trash Containers  
Tree Guards  
Tree Grates  
Trellises  
Utility Covers  
Window Washing Rails  
Window Wall Supports

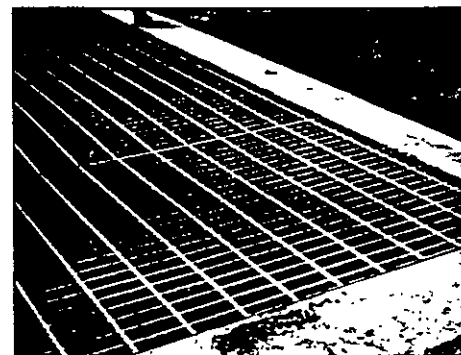
*The White House has painted galvanized steel security gates*



*Duplex system used on ornamental steel fence*



*Galvanized grating*



## AGRICULTURE AND FOOD PROCESSING

Ralston Purina estimates the use of hot dip galvanizing in their processing plants at 200 -700 tons per year. In 1988, Coors used 100 tons of hot dip galvanized steel for their plants. In 1988, H.J. Heinz Corporation used 250 tons in a tomato ketchup plant.

Food processing includes a wide variety of exposure conditions. From the cold, damp refrigeration rooms to the steamy, hot processing rooms, galvanizing provides a wide variety of solutions to corrosion in this industry.

A recent survey by BC Incorporated cites specifiers' reasons for using hot dip galvanizing in the food processing industry. The advantages of galvanizing cited include "long life, water and moisture resistant, resistant to intermittent washdowns with sanitizers and chemical cleaners." Also cited were "provides durable surface, prevents rapid oxidation, and resists fumes that emanate from clean-in-place systems."

Galvanizing has found use in recent projects by Fluor-Daniel Corporation including instant potato processing, bakeries, frozen food plants, and warehouses.

In 1983 in Homer, Alaska, the city built a fish packing plant. All structural steel, conveyor system framework, ladders, and other exposed steel were hot dip galvanized. When inspected in the late 1980s, the coating thickness in

all cases exceeded the ASTM thickness requirements.

By its nature, the agricultural industry represents a large consumer of steel items used outdoors. Whether it be buildings or equipment, all require corrosion protection. A well-known application of galvanizing in the agricultural industry is irrigation systems. Here the steel is constantly wet and must have extended life to maintain the low cost of production of agricultural products.

Watering troughs, animal pens, trailers, fencing, and light poles are among other common applications in this field. Agway Corporation has made use of galvanizing in grain hoppers, conveyors, elevators, and mixing equipment.

The agri-business is very cost competitive. Galvanizing can provide substantial long-term maintenance cost reductions so that producers and processors can keep production costs low. Hot dip galvanizing is becoming widely accepted as one of the best forms of corrosion protection because it helps farmers avoid costly repair and maintenance bills.

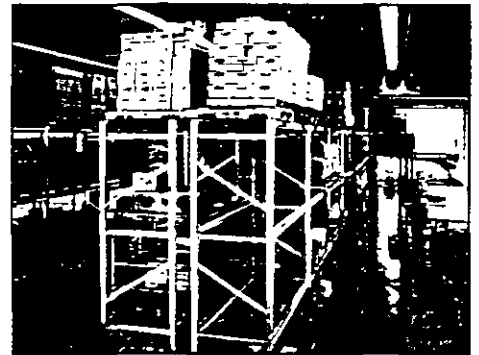
The following list provides proven ideas for use of galvanizing in the agricultural and food processing industry. All items listed are taken from known successful, cost-effective applications. Galvanizing plants are located in every region of North America. Should you desire assistance in your specific application, contact AGA or your local galvanizer.

# A PPLICATIONS

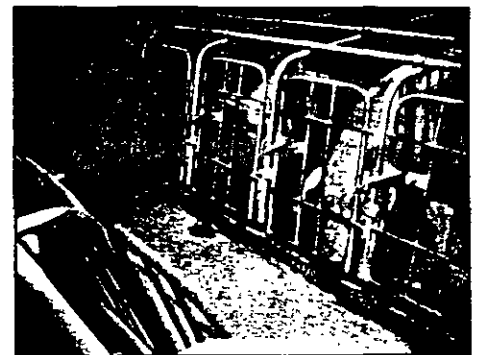
## **Agriculture and Food Processing**

Building Structures  
Conveyor Casing  
Electrical Conduits  
Equipment Hooks  
Equipment Supports  
Farm Implements  
Farm Buildings  
Fasteners  
Feeding Equipment  
Fencing  
Gates  
Grain Hoppers  
Grain Conveyors  
Grain Mixing Equipment  
Grain Elevators  
Grain Drying Equipment  
Grating  
Growing Racks  
High Speed Freezing Equipment  
Irrigation Equipment  
Light Poles  
Meat Conveyors  
Panels  
Power Take Off Shifts  
Pre-Engineered Buildings  
Processing Equipment  
Railings  
Refrigeration Brackets  
Refrigeration Shelves  
Side Frames  
Silo extraction equipment  
Slotted Floors  
Stanchions  
Steel Bands  
Substation Structures  
Supporting Structures  
Tractor Parts  
Trailers  
Transmission Poles  
Truss Plates  
Vegetable Washing Machine  
Veterinary Equipment  
Waste Conveyor Systems  
Waste Handling Equipment Pumps  
Watering Troughs  
Wheel Tractor Hubs  
Window Frames

*Galvanized shipping and receiving racks*



*Galvanized hog pens*



*Galvanized pre-engineered building*



## PETROCHEMICAL AND CHEMICAL

In a 1986 report, a 28 year old exterior pipe rack structure was reported to have a galvanized coating thickness ranging from 5.2 to 6.9 mils. This indicates the 1958 installation will probably last another 60 years before serious maintenance is required. The galvanized structure is located in Texas City, Texas and is still in excellent condition.

Celanese Corporation decided to use galvanized structural steel in 1956 in their new polyethylene plant at Deer Park, Texas. Their decision was based on predictions of low cost and long-term performance. Surveys conducted in subsequent years showed that the predictions were not only correct, but were conservative. The original estimate in this extremely harsh atmosphere only anticipated a 15 year life. At the 20 year mark, the measured anticipated life was still in excess of 15 years.

A current report on hot dip galvanizing in this industry shows plants such as Dow Chemical's Freeport, Texas plant using hot dip galvanizing for 80% of all steel structures. Similarly, Union Carbide's Texas City, Texas plant also reports over 80% of its structures are hot dip galvanized. The chemical industry has extensively used hot dip galvanizing as a primer under epoxy or vinyl topcoats in high corrosion environments. One operation commented "(we) will galvanize anything that can be galvanized." It has proven to be cost effective. Some specifiers are quoting 30 years life expectancy for galvanized steel.

Offshore platforms frequently make use of galvanizing in areas such as grating, handrail, exterior skin of living quarters, and other structures. Often, these galvanized parts are coated with epoxy and urethane to significantly increase the anticipated life of the coating system. Major reasons cited by specifiers for selecting galvanizing are "durability, low life cycle cost."

Galvanizing's ability to handle a large range of pH values as well as withstand a wide range of temperatures make it of particular value to the chemical industry. Few available coatings are capable of performing well in such a diverse set of atmospheric conditions.

The following page has a list of known, successful applications of galvanizing in the chemical and petrochemical industry. It shows the diversity of applications and the wide-ranging ability of the galvanizer to produce the required product.

# APPLICATIONS

## **Petrochemical and Chemical**

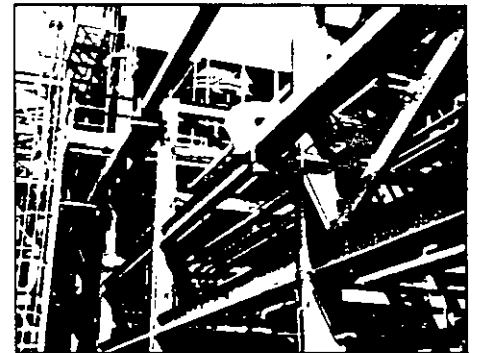
Ambient Temperature Ducts  
Anchor Bolts  
Beams  
Belt Guards  
Cathodic Protection Rectifiers  
Catwalks  
Checked Plate  
Cogeneration Equipment  
Columns  
Conveyor Systems  
Cooling Tower Structure  
Crane Supports  
Cross Bracing  
Decks  
Drain Pipes  
Drive Piling  
Electrical Conduits  
Electrical Cable Ducts  
Embedded Items  
Equipment Screens  
Equipment Guards  
Fasteners  
Fencing  
Fire Extinguishing Equipment  
Flare Towers  
Flat Plates  
Girts  
Gratings  
Hand Rail  
Heat Exchanger Tubing  
Ladders  
Marine Terminal Structures  
Off-Shore Structures  
Outside Switch Gear Frames  
Pipe Ways  
Pipe Supports  
Pipe Racks  
Pipe Bridges  
Platforms  
Precipitator Structure  
Prefab Building Structures  
Process Piping  
Process Equipment Skids  
Process Vessels  
Purlins  
Railings  
Safety Equipment

Sag Rods  
Scuppers  
Stairways  
Stringers  
Transmission Poles  
Walkways  
Waste Water Treatment Equipment

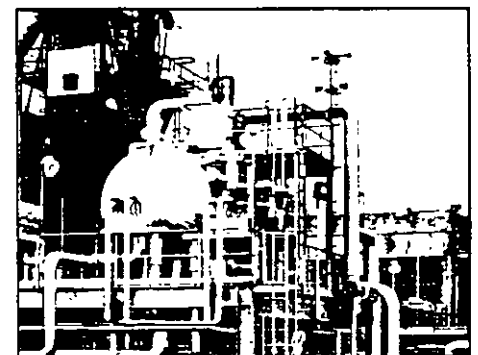
*Galvanized walkways and railings  
provide long-term service*



*Galvanized pipe bridge*



*Galvanized structural steel*





## PULP AND PAPER

The pulp and paper industry sees itself as having the most aggressive, hostile atmosphere to steel in any industry in North America. It uses a wide variety of chemicals and by its nature uses a large quantity of water. Hot dip galvanizing has performed well in this environment. It is now well accepted and widely used by most pulp and paper companies. In-depth testing by the zinc industry conducted at six Canadian operations has conclusively proven that galvanizing performs exceptionally well in almost every area of the pulp and paper plant.

In 1967, the Crown Zellerbach Corporation built the Wauna Mill in Clatskanie, Oregon. An inspection conducted in the late 1980s revealed that 3 1/2 - 4 1/2 mils of zinc coating remained in most areas. In the lime kiln area, heavy lime deposits had to be scraped away to evaluate the galvanized steel underneath. The galvanizing was in excellent condition showing little if any deterioration.

Westvaco currently uses up to 2000 tons per year of galvanized steel for plant upgrades. Boise Cascade has been consistently using 250 tons or more for plant maintenance. Willamette Industries used over 10,000 tons of hot dip galvanized steel in the late 1980s. Union Camp indicates over 80% of all structural steel is hot dip galvanized. Temple-Eastex used 900 tons for one boiler plant in 1986.

Because of the extensive research on galvanized coatings in

the pulp and paper industry, the application of galvanizing in these operations is a well-refined technique. The Noranda research study on serviceability of zinc coatings in the pulp and paper industry is available upon request from AGA.

Possible applications of galvanizing in the pulp and paper industry are numerous. The list included here are only highlights. Cogeneration plants, waste water treatment plants, chemical processing plants, transportation facilities, railroads, buildings, hydroelectric power are all involved in each and every pulp and paper plant. For this reason, the list accompanying each section of this book apply to this industry.

On the following page is a brief recap of some of the known applications of galvanizing in the pulp and paper industry. For a complete list, review the applications list in each section of this book.

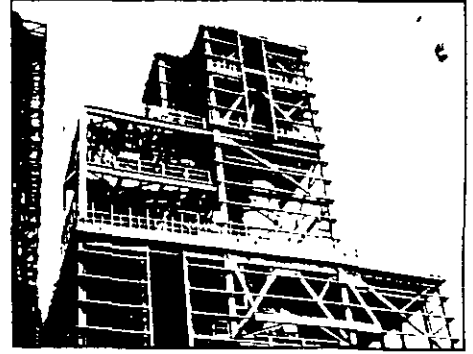
# A PPLICATIONS

## **Pulp and Paper**

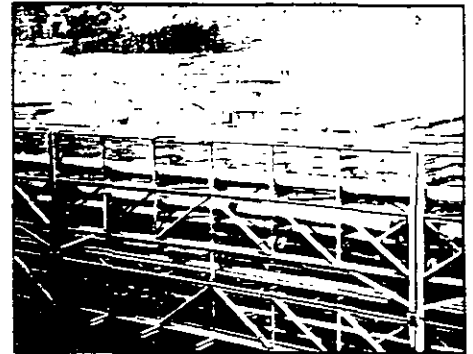
Anchor Bolts  
Benches  
Bleach Plant Structures  
Boiler Recovery Structures  
Bollards  
Bolts  
Brick Ledges  
Brick Ties  
Cable Tensioning Clips  
Cable Trays  
Canopy Supports  
Catwalks  
Conduit Bridges  
Conveyor Supports  
Conveyor Assemblies  
Crane Support Steel  
Cranes  
Cross Braces  
Curbing Angles  
Dam Gates  
Dock Levelers  
Drain Pipes  
Drive Piling  
Electrical Penetration Seals  
Electrical Conduits  
Elevated Tank Platforms  
Equipment Screens  
Equipment Bridges  
Fencing  
Fire Extinguisher Piping  
Fire Escapes  
Fish Ladders  
Flag Poles  
Floor Seals  
Floor Support Steel  
Footbridges  
Gas Substations  
Gates  
Girts  
Gratings  
Guardrail  
Hand Rails  
Handicap Rails  
Hangers  
Hatch Covers  
HVAC Support Steel  
Kick-Plates

Leveling Plates  
Lighting Towers  
Lightning Rods  
Lime Kiln Structural Steel  
Lintels  
Louvers  
Manhole Covers  
Microwave Towers  
Non-Insulated Pipe Bridges  
Pipe Sleeves  
Pipe Bridges  
Pipe Stanchions  
Plates  
Platforms  
Pollution Control Structures  
Power Substations  
Power Distribution Towers  
Power Line Transmission Towers  
Pre-Engineered Structures  
Purlins  
Reinforcing Mesh  
Reinforcing Steel  
Relieving Angles  
Roof Hatches  
Safety Railings  
Safety Guards  
Safety Cages  
Scale Equipment  
Screen Room Structural Steel  
Scuppers  
Sheet Piling  
Sign Supports  
Stack Supports  
Stair Stringers  
Stairways  
Steel Pipe  
Structural Steel  
Tank Supports  
Trash Containers  
Trash Racks  
Trench Edging  
Tunnel Liners  
Utility Covers  
Vehicle Washing Equipment  
Waste Water Digesters Support Steel  
Window Washing Rails  
Wood Yard Conveyor Structures

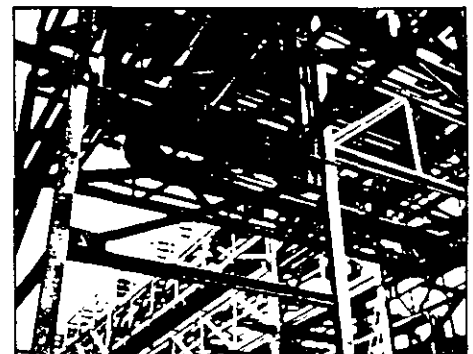
*Galvanized boiler plant*



*Galvanized pipe bridge*



*Galvanized structural steel*



## ORIGINAL EQUIPMENT MANUFACTURING

There is a renewed emphasis on the part of consumers for improved quality in manufactured products. The manufacturer is staking its reputation on the total quality of the product. Manufacturers incorporating galvanized components in their finished products have successfully promoted their use of galvanizing as a major advantage over competitive products. OEMs demand high quality, durable coatings that meet customer requirements for durability and long life.

OEM applications of galvanizing vary widely. OEMs include a heat exchanger coil manufacturer in California, an amusement ride manufacturer in New Hampshire, a light pole producer in Nebraska, a boat trailer manufacturer in Florida, or a bolt manufacturer in Illinois. Each manufacturer has similar requirements in that the product must perform to acceptable standards without the worry of corrosion.

Amusement rides such as the log-flume ride at Six Flag Of America are fully-galvanized by the designer/manufacturer. This allows the engineer designing the company's product to be assured of structural soundness over the life of the product. A manufacturer of microwave transmission antennas galvanizes the support ring for the antenna that maintenance on top of the tower on top of the mount be kept to a minimum.

The galvanized garbage can may well be the best known galvanized product in the world. Since the 1800s, galvanized garbage cans have been serving the North American consuming public. The boat trailer requiring repeated immersion in fresh or salt water has been shown to last longer when hot dip galvanized after fabrication.

Some applications for galvanizing in the OEM market rely on other characteristics of the zinc coating. A manufacturer of television transmission systems uses galvanizing to improve the signal output. Hot dip galvanized nails have long been used in the roofing business as the best possible nail for holding down a wide variety of roofing systems.

A manufacturer of shelf systems for commercial walk-in coolers uses galvanizing to protect the brackets and shelves from premature rusting. This cold, damp atmosphere has proved destructive to a wide variety of other corrosion protection materials. Security gates used to protect many of the nation's important facilities have been galvanized to ensure the strength of the steel. In Washington, D.C. the White House is surrounded by galvanized security gates.

The list on the next page represents just a few of the known OEM galvanized products. Because of their unique nature, OEM products may require assistance in design and planning. If you require assistance in the application of galvanizing, contact the AGA or your local galvanizer.

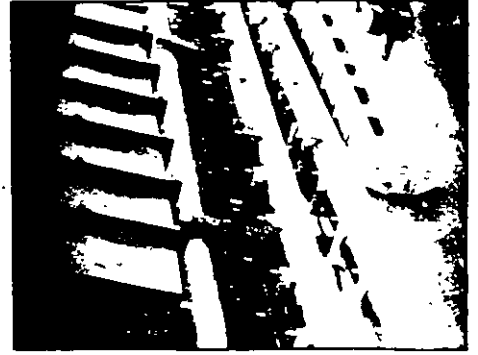
# A APPLICATIONS

## Original Equipment Manufacturing

Amusement Rides  
Antennas  
Bicycle Racks  
Boat Anchors  
Boat Stabilizers  
Boat Trailers  
Bolts  
Buckets  
Cable Drums  
Cable Trays  
Car Parts  
Cellar Doors  
Conduit  
Cooling Tower Parts  
Dock Hardware  
Dock Levelers  
Dumpsters  
Electrical Enclosures  
Fencing  
Flag Poles  
Frames  
Garbage Cans  
Grating  
Guardrail  
Handrail  
Hardware Items  
Industrial Trolley Caster Frames  
Light Brackets  
Light Duty Vehicle Ramps  
Light Poles  
Microwave Mounts  
Nails  
Net Reels  
Park Benches  
Picnic Table Frames  
Pipe Hangars  
Portable Building Frames  
Refrigeration Brackets  
Refrigeration Shelves  
Scaffolding  
Scales  
Security Cage Frames  
Security Gates  
Spiral Staircases  
Towers  
Trailer Door Hardware  
Trash Receptacles

Truck Parts  
Truck Wheels  
Utility Trailers  
Wheelbarrows

*Galvanized support  
part for floating dock*



*Galvanized ski lift tower*



*Disney's Splash Mountain™  
utilizes galvanized steel*



## AGA SERVICES TO THE SPECIFICATION COMMUNITY



The American Galvanizers Association (AGA) is the trade association representing the galvanizing industry throughout North America. Some 150 member companies are experts in the production of galvanized product providing superior corrosion control. Customers include architects, engineers, steel fabricators, and other specifiers and designers of public works projects, industrial facilities, commercial construction, and manufacturing.

AGA is committed to serving the specifying and engineering community by providing technical marketing services. The AGA maintains a toll free number, 1-800-HOT-SPEC (1-800-468-7732), to provide help to specifiers in determin-

ing the best use of galvanizing in a project. Additional free assistance is given in understanding and writing high quality specifications for the use of galvanizing.

The AGA program is geared to the needs of the specification community by providing technical information on galvanizing and its corrosion resistance. The AGA maintains an inventory of some 50 publications available free of charge to specifiers. AGA also conducts free seminars and educational workshops throughout North America. AGA services also include dissemination of technical and product application information covering a wide range of applications and industries including industry specific technical papers and case studies.

---

# C O N T E N T S

---

## **INTRODUCTION . . . . 1**

## **CORROSION: WHAT AND WHY . . . . 2**

Concern About Corrosion . . . . 2

Metal and Alloy Corrosion . . . . 2

The Corrosion Process . . . . 3

Galvanic Corrosion . . . . 3

Corrosion of Steel . . . . 4

## **GALVANIZING FOR CORROSION PROTECTION . . . . 6**

History of Galvanizing . . . . 6

Methods of Protecting Iron and Steel . . . . 7

Barrier Protection . . . . 7

Cathodic Protection . . . . 7

Galvanizing Process . . . . 7

Surface Preparation . . . . 8

Galvanizing . . . . 10

Inspection . . . . 10

Properties of Galvanized Coatings . . . . 11

The Metallurgical Bond . . . . 11

Coating Thickness . . . . 14

## **DESIGN OF PRODUCTS FOR GALVANIZING . . . . 16**

Sizes, Shapes and Dimensions . . . . 16

Mechanical Properties . . . . 17

Other Design Considerations . . . . 17

Welding . . . . 17

Bolting . . . . 18

Painting Galvanized Steel . . . . 18

Environmental Compliance . . . . 20

## **ECONOMICS OF GALVANIZING . . . . 21**

Economic Analysis . . . . 21

First Cost . . . . 21

Life-Cycle Cost . . . . 21

Cost Per Square Foot Per Year Theory of Value . . . . 22

Capitalized Expenditure . . . . 22

Other Factors . . . . 22

## **CORROSION RESISTANCE OF GALVANIZED COATINGS . . . . 24**

Atmospheric Conditions . . . . 25

Heavy Industrial Atmospheres . . . . 27

Moderately Industrial Atmospheres . . . . 27

Suburban Atmospheres . . . . 27

Temperate Marine Atmospheres . . . . 27

Tropical Marine Atmospheres . . . . 28

Rural Atmospheres . . . . 28

Chemical and Liquid Environments . . . . 28

pH of the Solution . . . . 28

Fresh Water . . . . 30

Sea Water . . . . 30

Soils . . . . 31

Concrete . . . . 32

Other Metals . . . . 33

## **PRACTICAL USES OF GALVANIZED STEEL . . . . 37**

Bridges and Highways . . . . 38

Power Generation, Transmission, and Distribution . . . . 40

Transportation . . . . 42

Water and Waste Water Treatment . . . . 44

Buildings . . . . 46

Agriculture and Food Processing . . . . 48

Petrochemical and Chemical . . . . 50

Pulp and Paper . . . . 52

Original Equipment Manufacturing . . . . 54

## **AGA SERVICES TO THE SPECIFICATION COMMUNITY . . . . 56**

Panamericana:

ES por. usual :  $3.5 \times \frac{1}{1000}''$

Pueden dar fin problemas  $5.5 \times \frac{1}{1000}$

Máximo  $12 \times \frac{1}{1000}$

Costos con 3.5 mill (89 micras) { De \$900/ton (viguetas, canales)  
También para  $1\frac{1}{2}'' \phi$  etc)  
a \$1700/ton (lámin. calibre 18 o 16)  
también para  $5/16''$ ,  
o  $3/8'' \phi$

con 5.5 mill (140 micras) - agregar 33% -

Todo se mide en toneladas, nada en area -

En la práctica se recibe el producto por galvanizar y se entrega en 4 a 6 hrs. Panamericana descarga y carga el transporte. ~~(ver Hoja)~~

The material in this publication has been developed to provide accurate and authoritative information regarding iron and steel products hot dip galvanized after fabrication and is based on recognized engineering principles and inspection practices. This material is for general information only and is not intended as a substitute for competent professional examination and verification as to accuracy, suitability and/or applicability. The publication of the material contained herein is not intended as a representation or warranty on the part of the American Galvanizers Association, Inc. Anyone making use of this information assumes all liability arising from such use.



American Galvanizers Association  
12200 East Iliff Avenue, Suite 204  
Aurora, Colorado 80014-1252

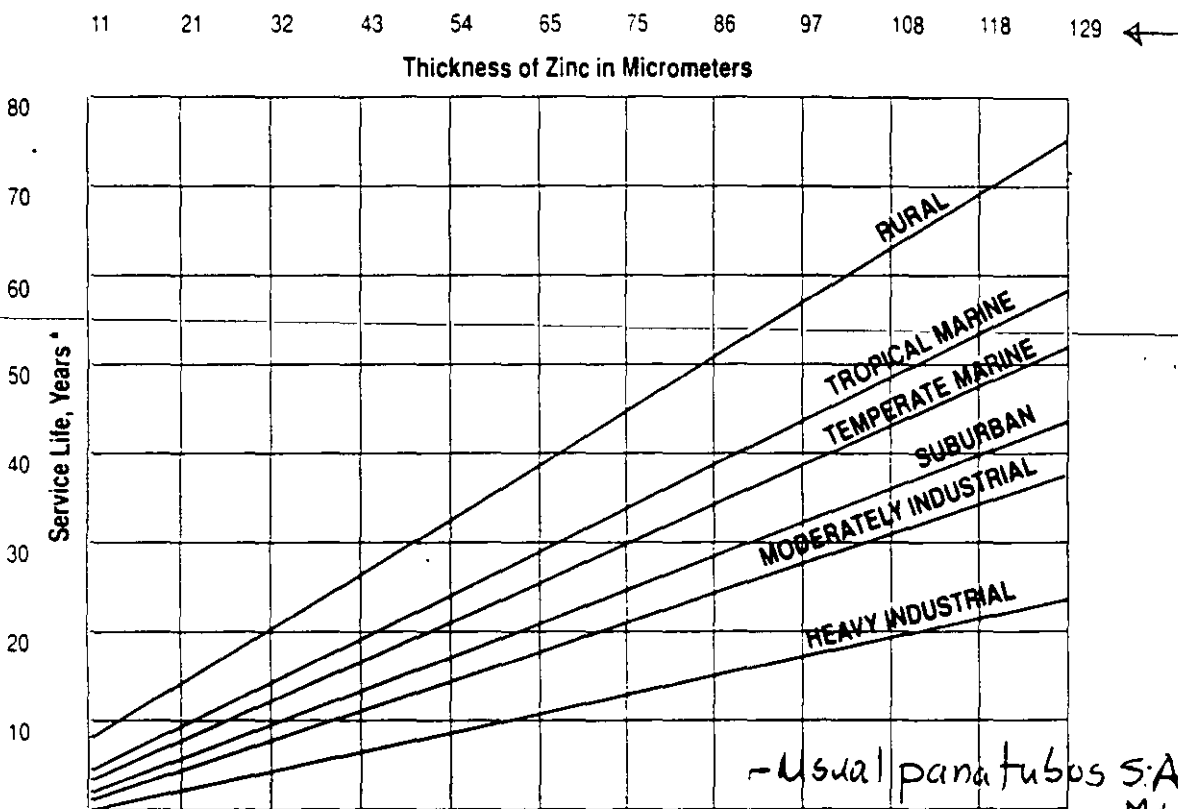
Phone: 1-800-HOT-SPEC



Figure 14

## LIFE OF PROTECTION VS. THICKNESS OF ZINC AND TYPE OF ATMOSPHERE

\* Service Life is defined as the time to 5% rusting of the steel surface.



- Usual panatubos S.A.

Inacceptable		Oz. of Zinc/Sq. Ft. of Surface										Maximo usual Panatubos S.A.	
25	.50	.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75	3.00		
Gr/m <sup>2</sup>				377	452	527	603	678	753	829	904		
Thickness of Zinc in Mils				2.1	2.6	3.0	3.4	3.8	4.2	4.7	5.1		
mils. mos de mm				53	66	76	86	97	107	120	130		

Minimo absoluto.

$\approx .11\text{mm}$   
 $\approx .1\text{mm}$  (Minimo recomendable)

# R ESISTANCE

## COMPARISON OF EPOXY COATED AND HOT DIP GALVANIZED REINFORCING

COMMENT	EPOXY COATED	HOT DIP GALVANIZED
1. Earliest use	1977	Early 1900's
2. Requires care in handling	Yes	No
3. Can be dragged on ground	No	Yes
4. MUST be touched up	Yes	No
5. Has barrier protection	Yes	Yes
6. Has cathodic protection	No	Yes
7. Bond strength to concrete	Poor	Excellent
8. UV Resistance	Questionable	Good
9. After fabrication application	Difficult	Simple
10. Widely used	Yes	Yes
11. Cost	Comparable *	Comparable
12. Lead time ?	3 weeks	1-3 days
13. Availability of coating for other embedded items	Scarce	Readily available

\* Epoxy prices vary widely throughout U.S. and Canada and wide variations should be expected.

## Other Metals

Where zinc comes in contact with another metal under atmospheric or aqueous conditions, the potential for corrosion through a bimetallic couple exists. The extent of the corrosion will depend upon the position of the other metal relative to the zinc in the galvanic series.

If an installation requires contact between galvanized

materials and copper or brass, in a moist or humid environment, rapid corrosion may occur. Even run-off water from copper or brass surfaces can contain enough dissolved copper to cause rapid corrosion. If the use of copper or brass in contact with galvanized items is unavoidable, precautions should be taken to prevent electrical contact between the two metals. Joint faces should be insulated with non-conducting gaskets and connections should be made with

### How Important Is Porosity?

Normally, porosity if it should exist is not a problem, because each void is spherical. It does not represent a notch. Even with a slight loss in section because of the void, its spherical shape allows a smooth flow of stress around the void without any measurable loss in strength.

Tests have shown that a weld can contain a large amount of porosity without materially changing the tensile or impact strength and ductility of the weld. This porosity could amount in total volume to a void equal to 7% of the weld's cross-section without impairing the joint's performance.

The ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section VIII and X, will allow porosity in a weld to the extent shown on charts incorporated into the Code. These charts consider size, distribution, and alignment of voids, versus plate thickness.

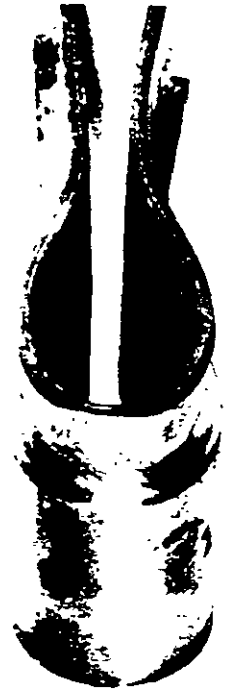
The AWS Building Code will allow a slight porosity if well dispersed in the weld. This is defined as "gas pockets and any similar generally globular type voids."

The AWS Bridge Specification allows some porosity. For porosity above  $\frac{1}{16}$ " in void size, a table shows minimum clearance between voids and maximum size of void for any given plate thickness.

## 5. DESIGN FOR WELDING

A designer must know the fundamental differences between welding and other assembly methods if he is to detail economical welded members. If a welded girder,

FIG. 7 Weld metal in well-designed joints demonstrate much greater ductility than would be required in any type of structures.



for example, were constructed with multiple cover plates, the cost would be excessive. The use of only one flange plate with a reasonable number of butt welded splices, at points where the plate thickness can be reduced, is usually adequate and also gives improved fatigue resistance.

The selection of a connecting system should be made at the design level; for some types of structures, may even influence the architectural concept itself.



FIG. 8 Many contemporary structures are using exposed steel framing as part of the artistic scheme. Welding provides the unencumbered simplicity of form essential to the modern look in architecture, typified in this showcase building.

bar or strongback is pulled up against the misaligned plates by driving steel wedges between the bar and attached yokes. An alternate method (lower sketch) involves the welding of bolts to the misaligned plate and then drawing the plate up against the strongback by tightening up on the bolts.

**4. RUN-OFF TABS OR EXTENSION BARS**

Butt joints of stress carrying members should, where possible, be welded with some type of run-off bar attached to the ends of the joint to make it easier to obtain good quality weld metal at the ends.

In general the bar should have a similar joint preparation to that being welded; gouging or chipping may be used to provide the depth of groove. For automatic welding, the bars should have sufficient width to support the flux used during welding. These bars are usually removed after welding.

A flat run-off bar may not give proper support for weld metal to keep the top corners of the plate from melting back at the ends; Figure 10(a). If the bars were placed high enough for this, they would be above the groove of the joint and would interfere with proper welding at the ends; the welding wire (if automatic welding) would have to drop down into the groove at the start and climb out at the other end very quickly, undoubtedly sticking; Figure 10(b).

The flat run-off bar in Figure 10(c) for manual welding does not give proper support or maintain the

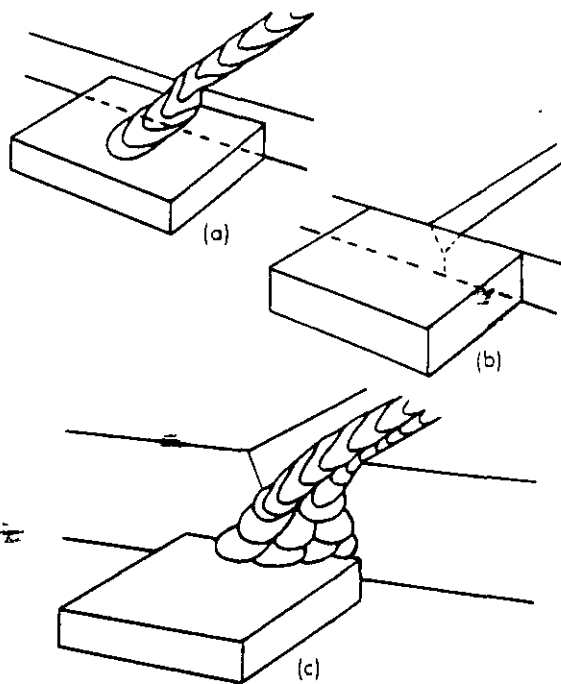


FIGURE 10

sides of the welded joint at the ends as welding progresses and requires special effort on the part of the welding operator to build these ends up.

The types of run-off bars illustrated in Figure 11 would give the proper equivalent joint detail at the ends.

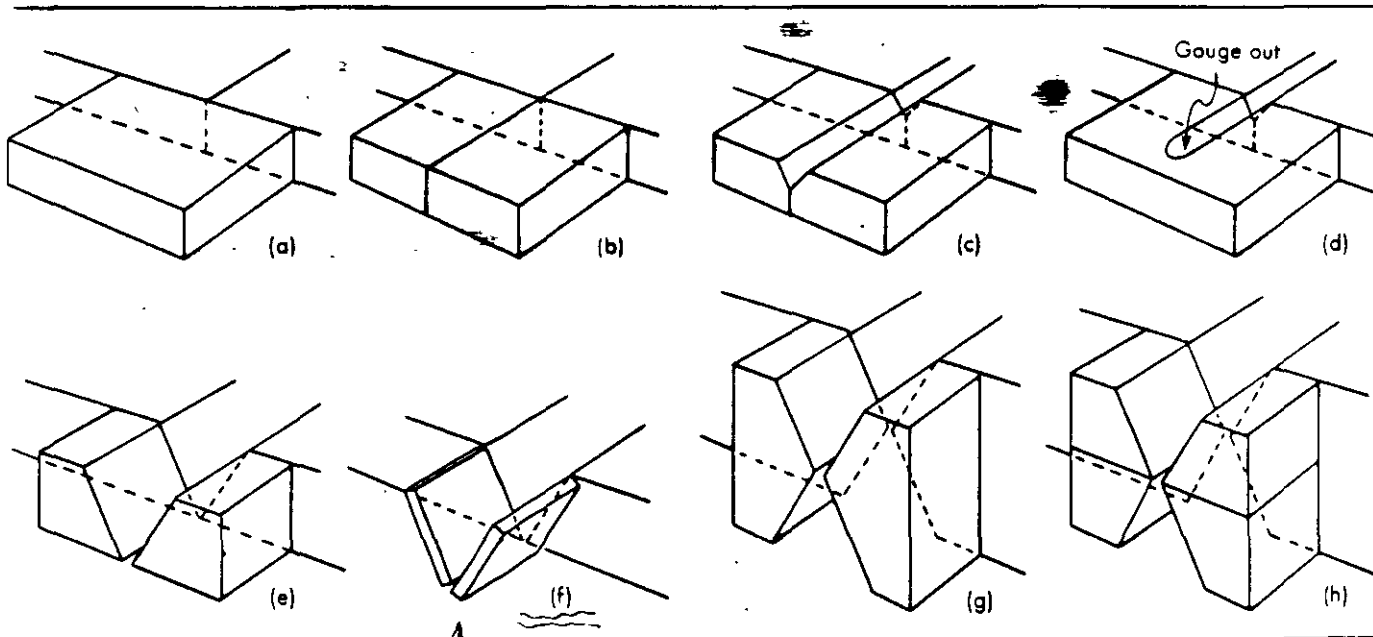


FIGURE 11

Simple.

# Shear Attachments for Composite Construction—Building

## 1. BASIC REQUIREMENTS

The concrete floor may be attached to the top flanges of the steel girders or beams by the use of suitable shear connectors. These allow the slab to act with the steel and form a composite beam having greater strength and rigidity.

The concrete slab becomes part of the compression flange of this composite element. As a result, the neutral axis of the section will shift upward, making the bottom flange of the beam more effective in tension. By such an arrangement, beam cross-sections and weight can be reduced. Since the concrete already serves as part of the floor, the the only additional cost will be the shear connectors.

The types of shear connectors in use today take various shapes and sizes. Some typical ones are shown in Figure 1.

In addition to transmitting the horizontal shear forces from the slab into the steel beam making both beam and slab act as a unit, the shear connector provides anchorage for the slab. This prevents any tendency for it to separate from the beam. While providing for these functions, connector placement must not present difficulty in the subsequent placing of reinforcing rods for the concrete slab.

Because of lower shop costs and better conditions,

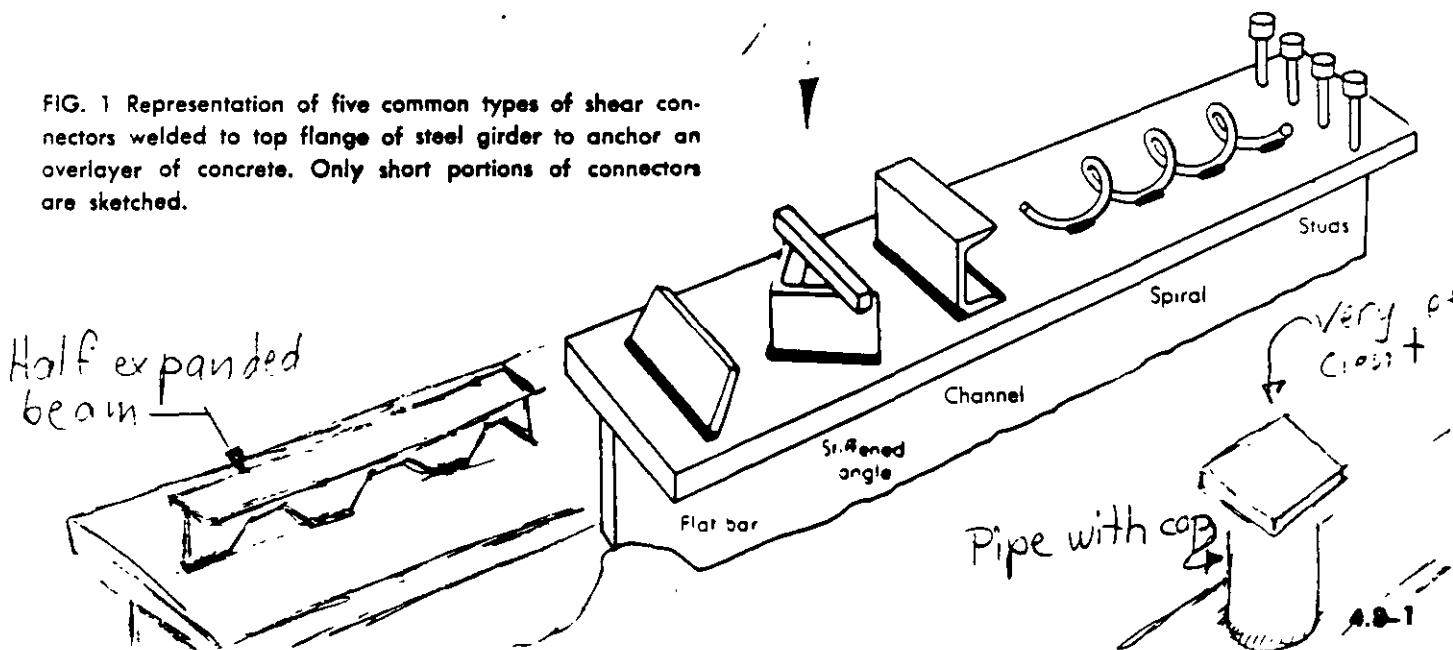
it is more economical to install these connectors in the shop. However, this may be offset by the possibility of damage to them during shipping, and by the difficulty presented to walking along the top flanges during erection before the slab is poured. For the latter reasons, there is a growing trend toward field installation of connectors.

The previous AISC Specifications had no information on the use of shear attachments for use in composite construction. If shear attachments were to be used, AASHTO allowables were followed. These require the use of rather long formulas to determine the individual factor of safety to be used on the connector. It also made a difference whether the beam was to be shored or not shored during the placing of the concrete floor.

### Factor of Safety

The new AISC Specifications recognize the use of shear attachments and, as a result of recent research on this subject, has taken a more liberal stand on this. The design work has been greatly reduced, and no longer is it necessary to compute the factor of safety. A more liberal factor of safety is now included in the shear connection formulas. The use of shoring is no longer a factor in the design calculations of the connector, since it has been found that the ultimate load carrying

FIG. 1 Representation of five common types of shear connectors welded to top flange of steel girder to anchor an overlayer of concrete. Only short portions of connectors are sketched.



# Field Welding of Bridges

## 1. BUTT JOINTS

In butt groove welding the ends of flange plates, some thought should be given to the proper type of joint. J and U joints require the least amount of weld metal; however, these joint types generally require the plates to be prepared by planing or milling which is impractical in most structural fabricating shops. This limits the preparation to flame beveling, giving a V joint.

In the V joint, less weld metal is necessary as the included angle is decreased. However, as this angle decreases, the root opening must be increased in order to get the electrode down into the joint and produce a sound weld at the root of the joint. Obviously, the one tends to offset the other slightly in respect to the amount of weld metal needed. On thicker plates, the joint with the smaller included angle and larger root opening, requires the least weld metal.

If a backing strap is used, any amount of root opening within reason can be tolerated, and all of the welding must be done on the same side; in other words, a single-V joint. If a backing strap is not employed, this root opening must be held to about  $\frac{1}{8}$ ". This enables the root pass to bridge the gap and not fall through. The welding may be done on one side only, single-V; or it may be done on both sides, double V. In either case, the joint is back-gouged from the opposite side to the root before depositing additional weld metal on the other side. This will insure sound metal throughout the entire joint.

Single-V joints may be acceptable if the plates are not too thick; for thicker plates, double-V joints are preferred since they require less weld metal. Remember that a single-V joint will produce more angular distortion. This increases rapidly as the flange thickness increases.

### Shop Splicing

Shop splices in flange and web plates should be made before the girder is fitted together and welded, providing the resulting sections are not too long or heavy to handle. These shop splices do not have to be in a single plane, but are placed where they are most convenient, or where a transition in section is desired.

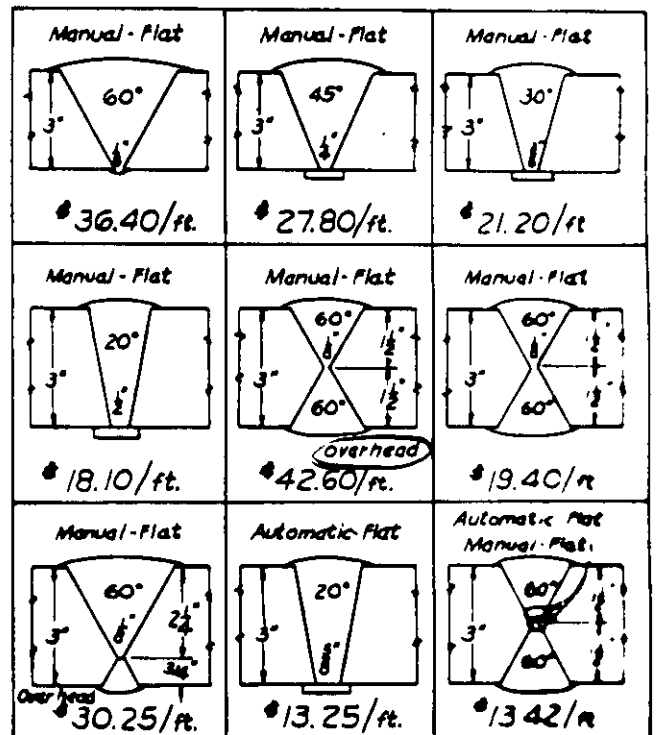
In the shop, flange plates can be turned over easily as welding progresses, so that on thicker plates double-V joints would be used. They require the least

amount of weld metal and the welding is balanced so there should be no angular distortion. On wider plates, perhaps 2' to 3', semi-automatic and full automatic submerged-arc welding equipment is frequently used.

### Field Splicing

Field splices usually are located on a single plane. Staggering the butt welds of flanges and webs will not improve performance of the girder. It is much easier to prepare the joints and maintain proper fit-up by flame-cutting and beveling when all are located in the same plane. See Figure 2. There is an advantage to having extended the fillet welds of flanges to the web all the way to the very end of the girder. This provides better support when the flanges are clamped together for temporary support during erection.

Most welding sequences for field splices of beams and girders are based on the following general outline

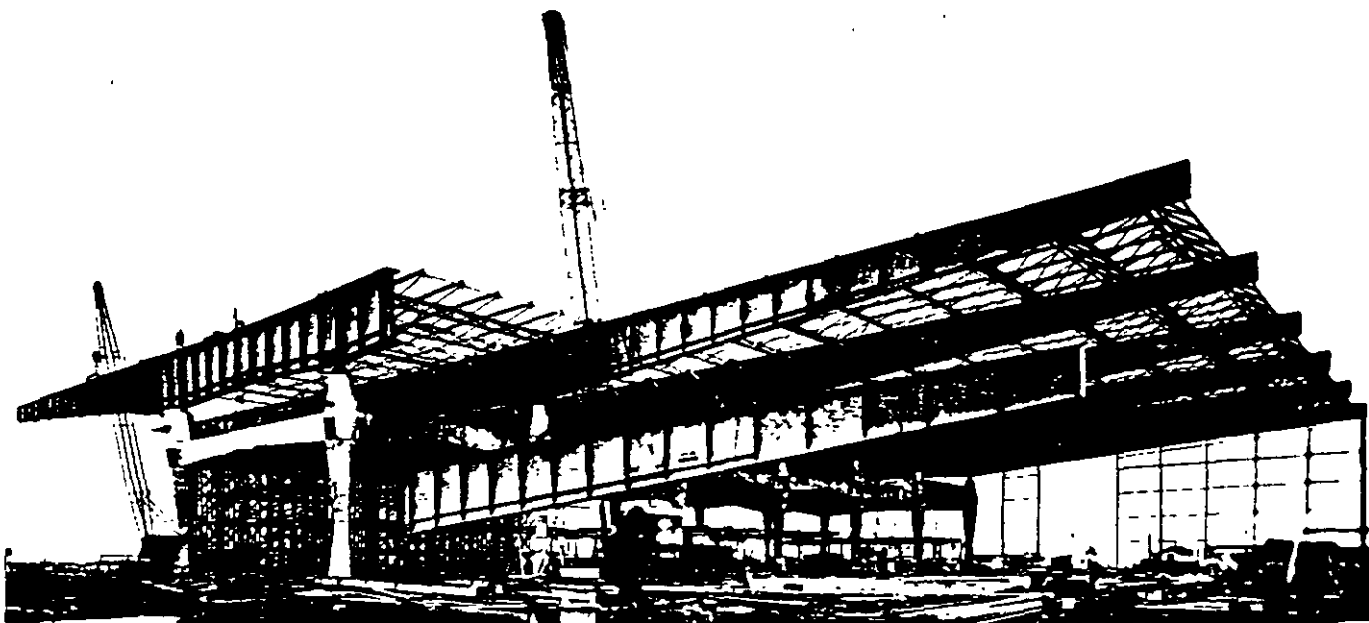


Labor & Overhead @ \$6.00 per hour  
 Manual Downhand - Iron powder E-6024 375 amps & 60% OF \$1.00/ft.  
 Manual Overhead - Low hydrogen iron powder E-6018 180 amps & 30% OF \$2.25/ft.  
 Semi-Automatic - Flat 500 amps & 60% OF \$1.00/ft.

FIG. 1 Relative cost of flange butt welds



United Airlines hangar at San Francisco features double-cantilevered roof over areas into which large jet aircraft are wheeled, nosing up to the 3-story inner "core" for servicing. Center girder section half (at left) is completely shop welded. Large plate girders like this one are stiffened to prevent web buckling due to edge compression. Cantilevered welded plate girders weigh 125 tons.



Two or more rolled shapes separated by intermittent fillers (AISC 1.18.2.4):

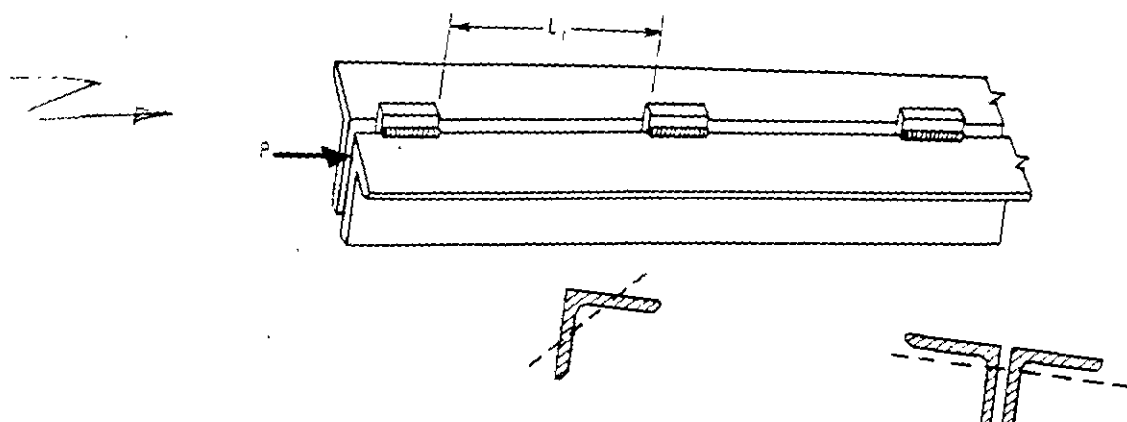


FIGURE 13

$\left(\frac{L_1}{r}\right)$  of either member  $\leq \left(\frac{L}{r}\right)$  of whole member

**Tie Plates and Lacing**

Main compression member built-up from plates or shapes and carrying a calculated force:

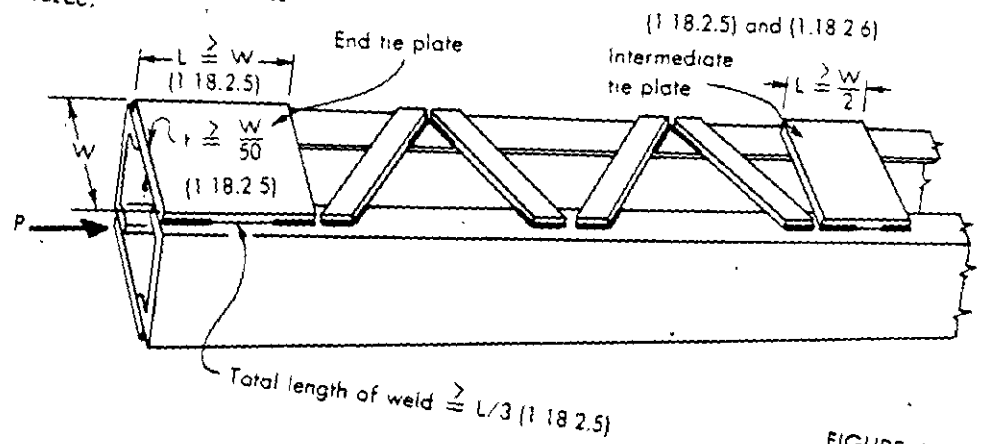


FIGURE 14

The spacing of lacing must be such (AISC 1.18.2.6) that —

$\left(\frac{S}{r_1}\right)$  of element  $\leq \left(\frac{L}{r}\right)$  of whole member

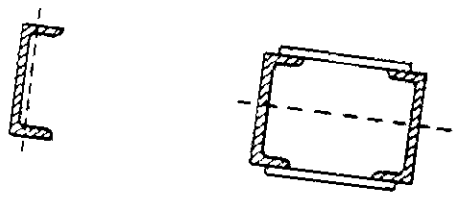


FIGURE 15

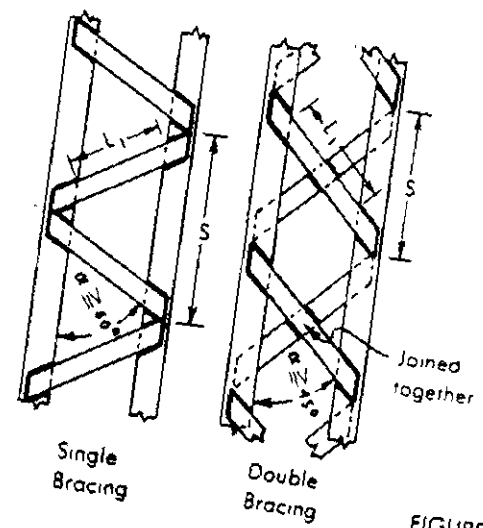


FIGURE 16

When the spacing between intermittent welds  $S > 15"$ , preferably use double bracing or braces made from angles (AISC 1.18.2.6).

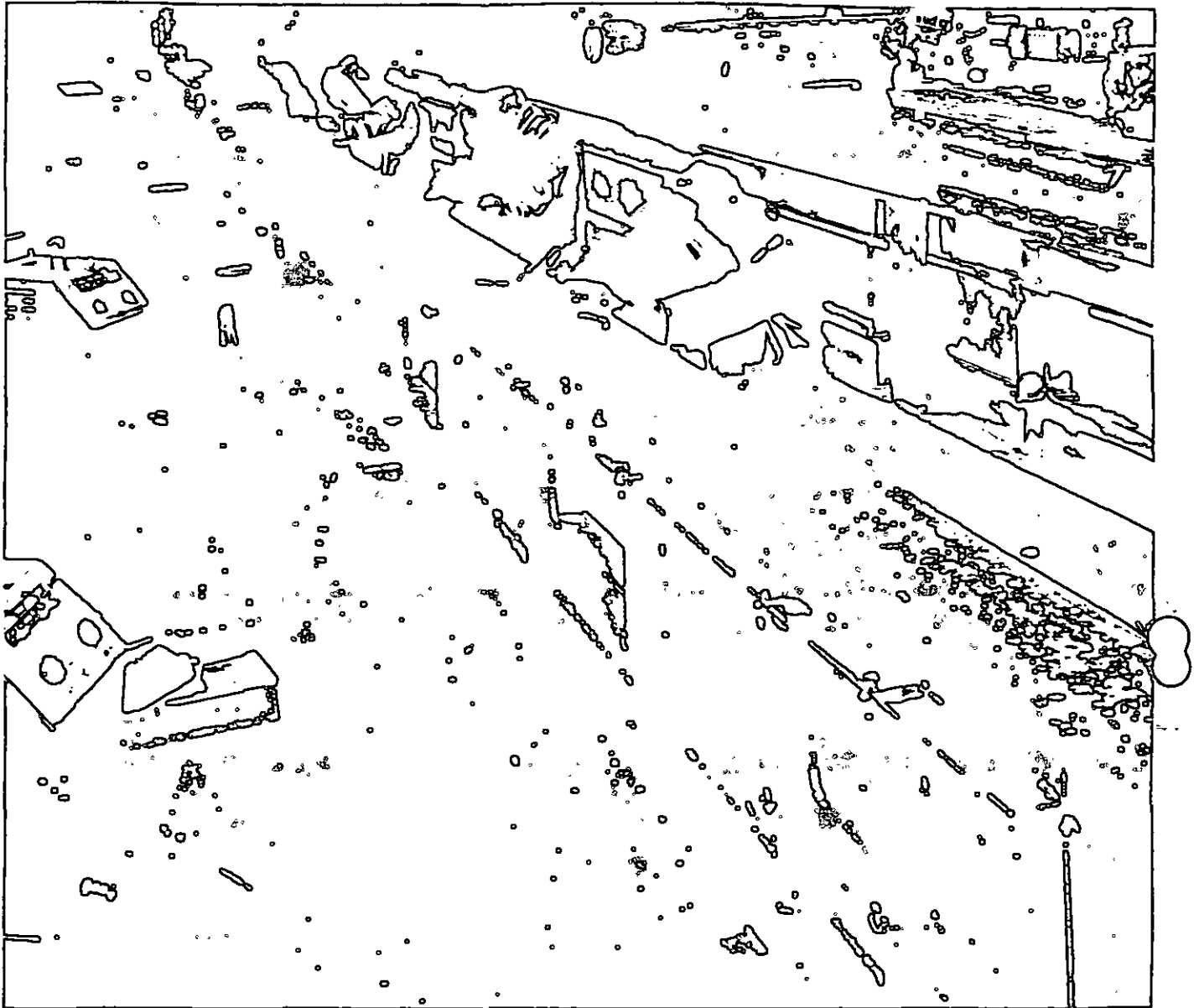
For single bracing:

$\left(\frac{L_1}{r_1}\right) \leq 140$

For double bracing

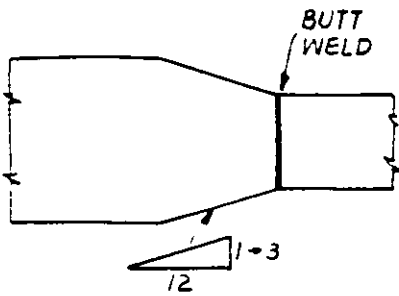
$\left(\frac{L_1}{r_1}\right) \leq 200$



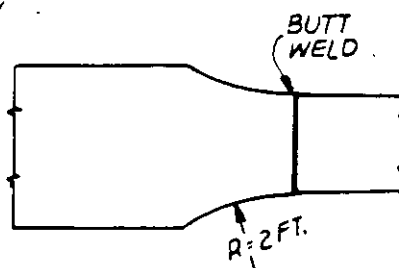


Access holes cut in girder web must be reinforced. In regions of high bending moment, flanges must extend far enough beyond web opening to effectively transfer forces into main web of girder. Semi-automatic welding, with self-shielding cored electrode wire, is used here in attaching reinforcements at double the speed of manual welding.





(a) Straight-line transition in width



(b) Curved transition in width

FIG. 11 Method of transition in width affects weld's allowable fatigue values.

the groove welds.

The usual method of flame cutting a bevel in the preparation of a welded joint is to cut down through the surface of the plate at the proper angle. Because of the wide angle needed for this transition in thickness, it is often better to flame-cut back from the edge of the plate after the flange plate has been cut to length. See Figure 10.

When the transition is made in width, the end of the wider flange is cut back at an angle, again with the flame-cutting torch. There is no problem in cutting in this manner, and any slope may be used; many times 1 in 12, but usually a maximum slope of 1 in 4. Often this taper may extend back for several feet.

Generally, it is felt that the straight-line transition in width is sufficient, and in the case of fatigue loading the allowable fatigue values for butt groove welds in tension or compression are used. See Figure 11. If a curve tangent to the edge of the narrow flange at the point of termination is used, it may be assumed the flanges have equal widths. Thus, for equal plate thicknesses and with the weld reinforcement removed, the butt groove weld may be assigned the same allowable stress as the flange plate, under any condition of fatigue loading.

Studies at the University of Illinois have indicated a slight advantage in making a transition in width

TABLE 4—Allowable Fatigue Strengths Of Groove Welds in Butt Joints

	100,000 CYCLES	600,000 CYCLES	2,000,000 CYCLES
BUTT WELD IN TENSION (not to exceed 18,000 psi)	$\sigma = \frac{18,000 \text{ psi}}{1 - \frac{K}{2}}$	$\sigma = \frac{17,000 \text{ psi}}{1 - 7K}$	$\sigma = \frac{16,000 \text{ psi}}{1 - 8K}$
BUTT WELD IN COMPRESSION (not to exceed p)	$\sigma = \frac{18,000 \text{ psi}}{1 - \frac{K}{2}}$	$\sigma = \frac{18,000 \text{ psi}}{1 - 0.8K}$	$\sigma = \frac{18,000 \text{ psi}}{1 - K}$

Where:

(p) is the allowable compressive stress for the member involved.

$K = \frac{\text{MINIMUM}}{\text{MAXIMUM}}$  (bending stress or bending moment)

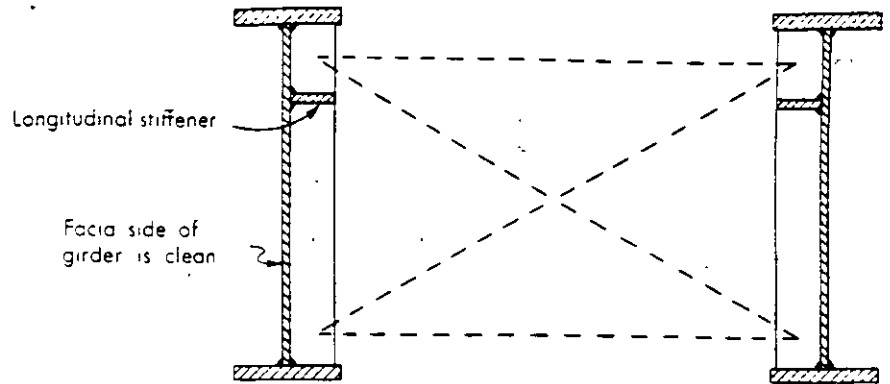
rather than in thickness. This advantage undoubtedly would be greater if the transition in width were made more gradual, however, both methods are sound and acceptable. Fatigue values for these transitions are found in Figure 12.

**Allowable Fatigue Strengths**

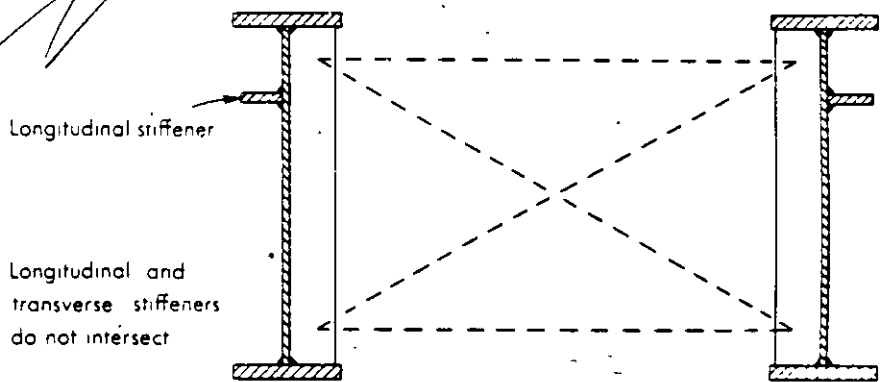
Groove welds in butt joints of equal plate thickness, if the reinforcement is finished smooth with the surface, may be allowed the same fatigue strength under any type of fatigue loading as the base metal. For plates of unequal thickness where the transition slope is not greater than 1 in 2½, the formulas found in Table 4 may be used.

Type of transition of flange section	K=0 N=100,000 ~	K=0 N=2,000,000 ~
<p>transition in thickness</p>	34,600 psi	18,500 psi
<p>transition in width</p>	34,900	19,500

FIG. 12 Making a transition in flange width rather than thickness has a slight advantage in fatigue strength.



(a) Longitudinal stiffeners on inside of girder



(b) Longitudinal stiffeners on outside of girder

FIG. 2 Placing longitudinal stiffeners on outside of girder and transverse stiffeners inside saves fabricating time.

*(Helps to compensate warping for heat applied on one side of web only).*

from the compression flange. Its moment of inertia shall not be less than—

$$I = d_w t_w^3 \left( 2.4 \frac{a_r^2}{d_w^2} - 0.13 \right) \dots \dots \dots (5)$$

These stiffeners do not necessarily have to be continuous, but may be cut where they intersect transverse intermediate stiffeners if they lie on the same side of the web.

**5. BEARING STIFFENERS**

Transverse stiffeners shall be used over the end bearings or along the length of the girder where concentrated loads must be carried, and shall be designed to transmit the reactions to the web. They shall extend as nearly as practicable to the outer edge of the flange, but not to exceed 12 times their thickness. (AASHO 1.6.17)

Some bridges have longitudinal stiffeners on the inside of the girders, others on the outside. If the longitudinal stiffeners are on the inside, along with the transverse stiffeners, it leaves the outside of the girder smooth; Figure 2(a). This, of course, means the longi-

tudinal stiffener must be cut into short lengths and then inserted between the transverse stiffeners. This results in increased welding time and production costs.

Some states have used longitudinal stiffeners on the outside and transverse on the inside; Figure 2(b). This method saves on fabricating time and also allows the use of automatic welding techniques to join the longitudinal stiffeners to the girder web, thereby substantially increasing welding speed.

**6. WELDING OF STIFFENERS**

AASHO (2.10.32) will allow the welding of stiffeners or attachments transverse to a tension flange if the bending stress is 75% or less than the allowable.

AWS Bridge (225 c) will allow the welding of stiffeners or attachments transverse to a tension flange if the bending stress in the flange is held to within those of the fatigue formulas (1), (3), or (5) for the welding of attachments by fillet welds; see Section 2.9, Table 1

Figure 3 illustrates the effect of transverse attachments welded to a plate when tested from tension to an equal compression ( $K = -1$ ).\*

\* "Fatigue Tests of Welded Joints in Structural Steel Plates" Bull. 327, University of Illinois, 1941.