

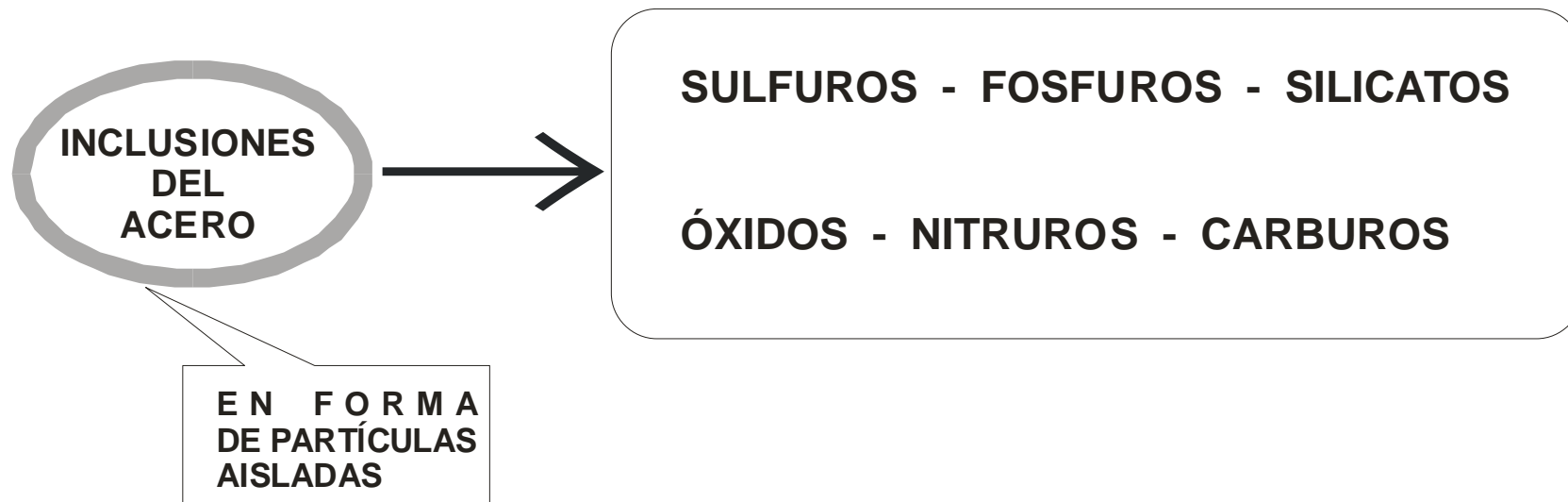
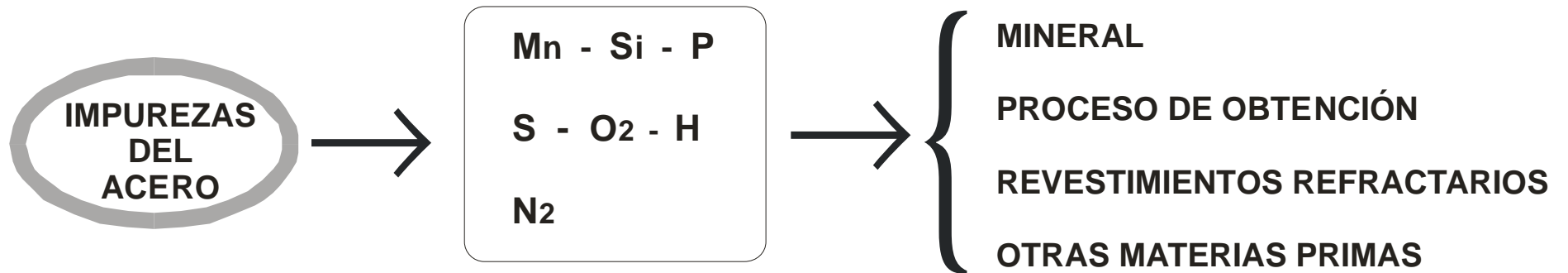


ESTUDIO Y ENSAYO DE MATERIALES

INGENIERÍA CIVIL
UNIVERSIDAD CATÓLICA
ARGENTINA



IMPUREZAS - INCLUSIONES





IMPUREZAS - INCLUSIONES

CLASIFICACIÓN
DE LAS
IMPUREZAS

a) INCLUSIONES →

EN FORMA DE PARTÍCULAS
INDEPENDIENTES

- * SULFURO DE MANGANESO ($Mn S$)
- * SULFURO DE HIERRO ($Fe s$)
- * SÍLICE ($Si O_2$)
- * ÓXIDO DE HIERRO ($Fe O$)
- * ALÚMINA ($Al_2 O_3$)

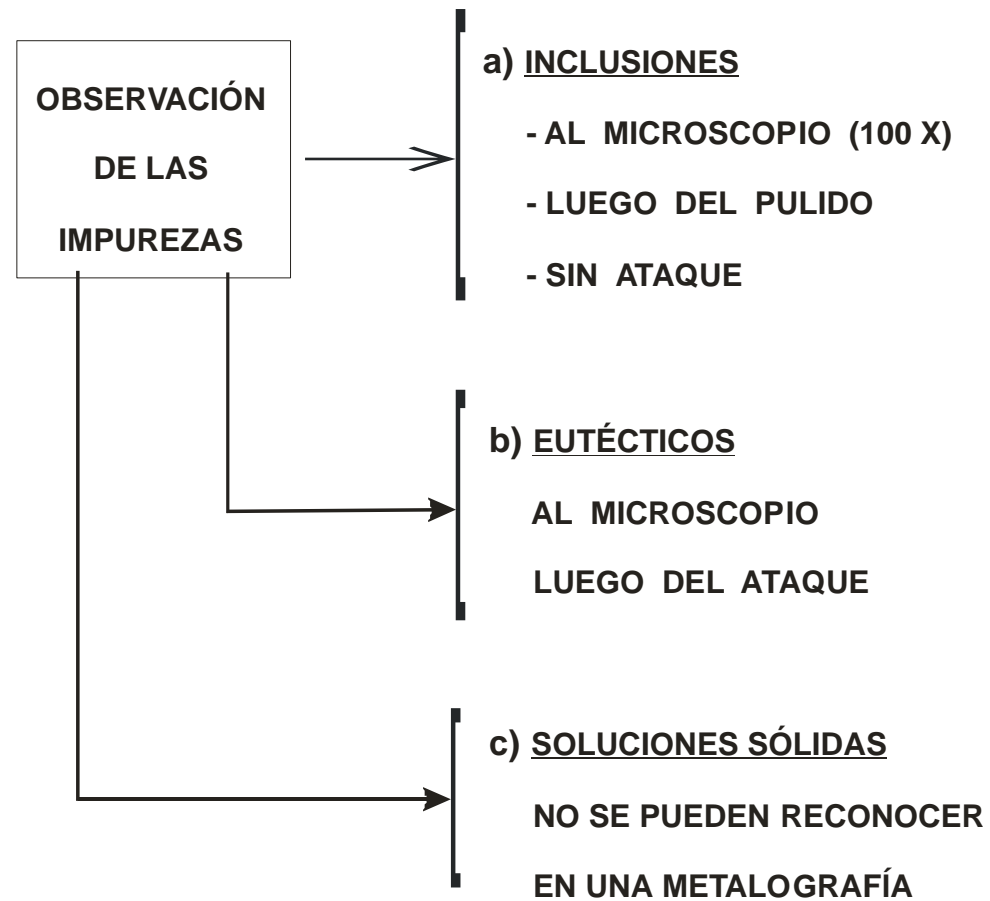
b) CONSTITUYENTES DE UN EUTÉCTICO

- * FOSFURO DE HIERRO ($Fe P$)

c) soluciones sólidas

- * EN EL HIERRO ($FeSi, Fe_3P$)
- * EN LA CEMENTITA (Mn_3C)

IMPUREZAS - INCLUSIONES



b) y c) SON IMPUREZAS DISUELTAS

IDENTIFICACIÓN QUÍMICA DE LAS IMPUREZAS:

EXISTEN ATAQUES ESPECÍFICOS

IMPUREZAS - INCLUSIONES

EFFECTO
DE LAS
INCLUSIONES

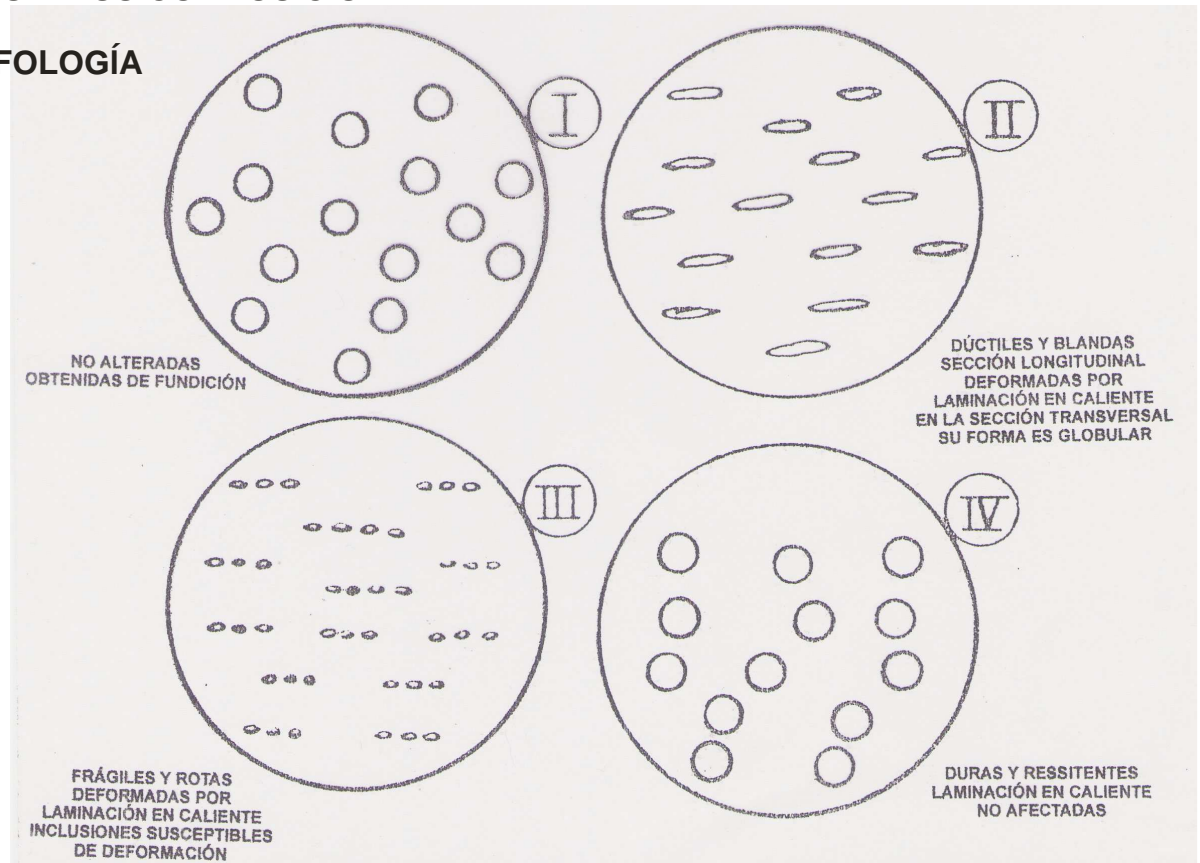
EN GENERAL PRODUCEN UN EFECTO
NOCIVO SOBRE LAS DISTINTAS
CARACTERÍSTICAS DEL ACERO

PUNTOS

MASAS REDONDEADAS

ÁREAS ALARGADAS
EN EL SENTIDO DEL
LAMINADO

∴ SE ESTUDIA SU COMPOSICIÓN
Y MORFOLOGÍA



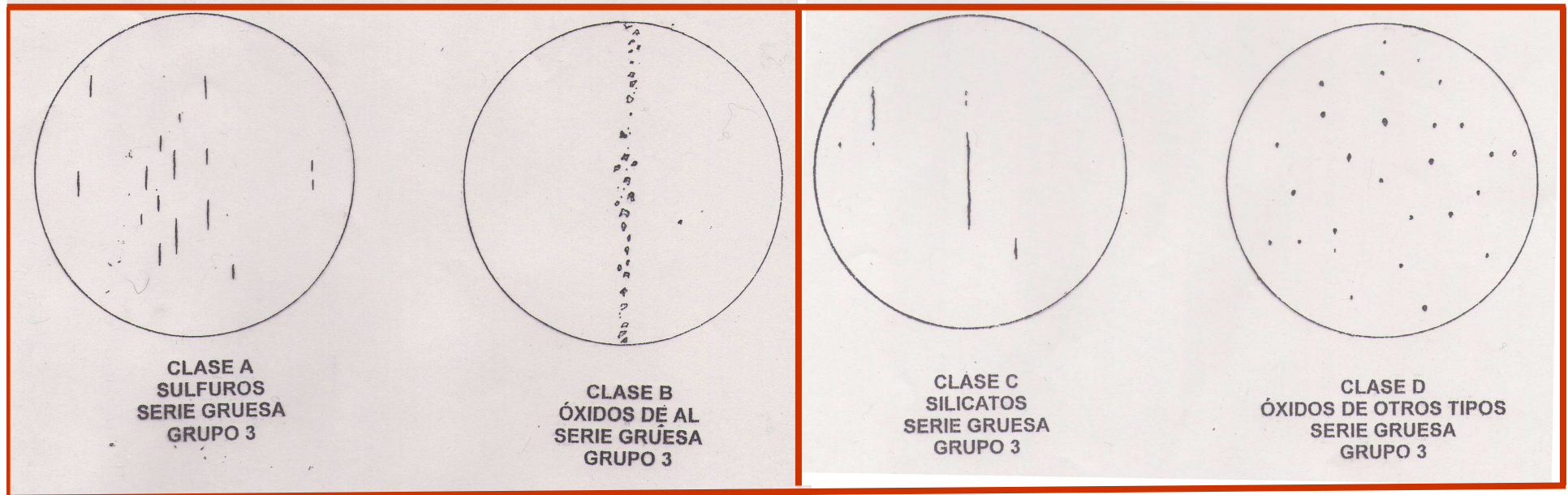
CLASIFICACIÓN DE LAS INCLUSIONES – NORMA ASTM

CLASES	A : SULFUROS	{ SERIE FINA: GROSOR APROX. 4 μm SERIE GRUESA: GROSOR APROX. 6 μm
	B : ÓX. DE AL	{ SERIE FINA: GROSOR APROX. 9 μm SERIE GRUESA: GROSOR APROX. 15 μm
	C : SILICATOS	{ SERIE FINA: GROSOR APROX. 5 μm SERIE GRUESA: GROSOR APROX. 9 μm
	D : ÓX. DE OTROS TIPOS	{ SERIE FINA: GROSOR APROX. 8 μm SERIE GRUESA: GROSOR APROX. 12 μm

CADA SERIE SE SUBDIVIDE EN 5 GRUPOS SEGÚN LA CANTIDAD DE INCLUSIONES POR UNIDAD DE SUPERFICIE

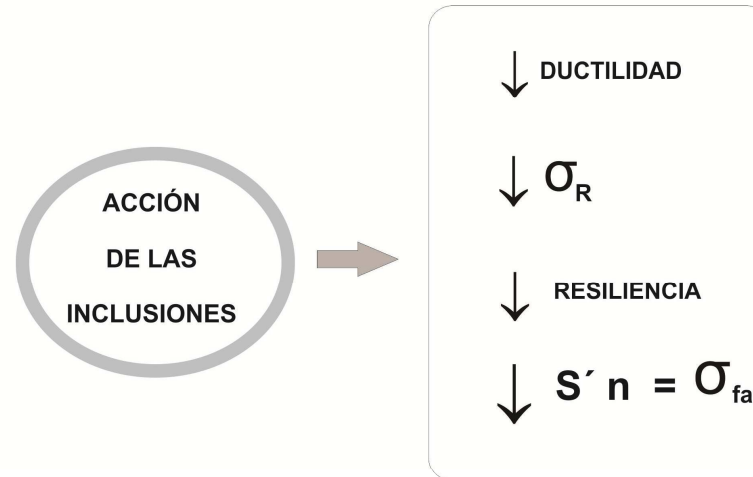
OBSERVACIONES 100 X

CLASIFICACIÓN DE LAS INCLUSIONES – NORMA ASTM





INCLUSIONES



FACTORES DE LOS QUE DEPENDE EL GRADO DE PELIGROSIDAD:

- LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA INCLUSIÓN
- PORCENTAJE EN VOLUMEN
- MORFOLOGÍA
- DISTRIBUCIÓN EN LA MATRIZ
- ORIENTACIÓN RESPECTO DE LOS ESFUERZOS APLICADOS
- COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LAS INCLUSIONES EN COMPARACIÓN CON EL DE LA MATRIZ QUE LA RODEA



ACCIÓN DE LAS IMPUREZAS EN EL ACERO

FÓSFORO:

- PROVIENE DE LOS MINERALES.
- LA MÁS NOCIVA JUNTO CON EL AZUFRE.
- CONFIERE FRAGILIDAD EN FRÍO.
- FORMA SOLUCIÓN SÓLIDA CON LA FERRITA.
- LÍMITE DE SOLUBILIDAD A $T_{amb.} = 1,7 \%$.
- SOLUBILIDAD A $1.050^{\circ}C > 2 \%$: T_f DEL EUTÉCTICO
HIERRO - FOSFURO DE HIERRO.
- NO SE DETECTA AL MICROSCOPIO. ESPECIALMENTE
PARA CONTENIDOS $< 0,1 \%$
- PUEDE DETERMINARSE SU PRESENCIA CUANDO SE
PRODUCE LA TEXTURA EN BANDAS DE FERRITA RICAS EN P.
- SEGREGACIÓN MUY GRANDE DURANTE LA SOLIDIFICACIÓN:
∴

	METAL DENDRÍTICO MÁS PURO.
	METAL INTERDENDRÍTICO ENRIQUECIDO EN P.
- LA SEGREGACIÓN INTERDENDRÍTICA, RICA EN P SE ALOJA EN
BORDE DE GRANO REDUCIENDO LA COHESIÓN ENTRE GRANO
Y GRANO \Rightarrow FRAGILIZACIÓN.
- CONTENIDO ADMISIBLE S/NORMAS: $\%P < 0,04\%$
- TANTO EL P COMO EL S MEJORA EL CORTE DE VIRUTA.
CUANDO SE LO DESEA FAVORECER \rightarrow SE ADICIONA HASTA $0,15 \%$

ACCIÓN DE LAS IMPUREZAS EN EL ACERO

AZUFRE:

- SE COMBINA CON EL Mn y con el Fe \rightarrow (Mn S) / (Fe S)
- MAYOR AFINIDAD POR EL Mn .°. DE EXISTIR PROPORCIÓN SUFICIENTE SE FORMARÁ Mn S \rightarrow Tf = 1.600 °C
- Mn S \rightarrow INCLUSIÓN NO TAN NOCIVA, PLÁSTICA A LA T DE LAMINACIÓN O FORJA, SE ALOJA DENTRO DEL GRANOS DE FERRITA Y SE DEFORMA EN EL SENTIDO DEL TRABAJADO EN CALIENTE
- ADICIÓN EXPRESO DE Mn.
- Fe S \rightarrow FORMA EL EUTÉCTICO HIERRO - SULFURO DE HIERRO Tf = 985 °C : SE ALOJA EN BORDE DE GRANO.
- DURANTE EL TRABAJO MECÁNICO EN CALIENTE, SE FUNDE EL EUTÉCTICO .°. SE ROMPE LA CONTINUIDAD DE LOS GRANOS EL S CONFIERE AL ACERO FRAGILIDAD EN CALIENTE (RED SHORTNESS).
- SI EL ACERO CONTIENE O₂ \rightarrow FORMA EL EUTÉCTICO ÓXIDO DE HIERRO - SULFURO DE HIERRO (FeO - FeS) : Tf = 940 °C .°. ÍDEM CASO ANTERIOR.
- CONTENIDO ADMISIBLE S/NORMAS: %S < 0,04%



ACCIÓN DE LAS IMPUREZAS EN EL ACERO

MANGANESO:

- SE ADICIONA INTENCIONALMENTE AL ACERO LÍQUIDO COMO DESOXIDANTE.
- EN ACEROS AL CARBONO : ENTRE 0,25 Y 1 %
- SE DISUELVE EN LA FERRITA. SE COMBINA CON EL S Y CON EL C PARA DAR CARBURO DE MANGANESO ($Mn_3 C$) . LA CEMENTITA CONTIENE CARBURO DE MANGANESO.
- AUMENTA LA PENETRACIÓN DEL TEMPLE, LA FORJABILIDAD, LA RESILIENCIA Y EL LÍMITE ELÁSTICO. DISMINUYE LA DUCTILIDAD.

SILICIO:

- DESOXIDA EL ACERO FORMANDO SÍLICE ($Si O_2$), ES DESOXIDANTE.
- EN ACEROS AL CARBONO : ENTRE 0,05 Y 0,3 %
- INCLUSIONES DE SÍLICE: ESFÉRICAS E INDEFORMABLES.
- MODIFICA PROPIEDADES DEL ACERO: MÁS FRÁGIL, DURO Y RESISTENTE. MENOS TENAZ.



ACCIÓN DE LAS IMPUREZAS EN EL ACERO

ALUMINIO:

- ACCIÓN DESOXIDANTE MÁS ENÉRGICA QUE EL Mn Y EL Si.
- SE UTILIZA PARA OBTENER ACEROS CALMADOS. FACILITA EL DESPRENDIMIENTO DE GASES QUE SE AGITAN DURANTE EL PROCESO DE FABRICACIÓN DEL ACERO LÍQUIDO.
- LOS ACEROS DESOXIDADOS CON Al SON DE GRANO FINO.
- LAS INCLUSIONES DE ALÚMINA (Al_2O_3), $T_f = 2050\text{ }^\circ\text{C}$ SON PUNTOS FRÁGILES, DUROS, NEGROS E INDEFORMABLES.
- LA PRESENCIA DE ALÚMINA DIFICULTA EL MECANIZADO SON ABRASIVAS.



OTRAS CLASIFICACIONES DE LAS IMPUREZAS

**ENDÓGENAS
O
NATURALES**



RESULTAN DE LAS REACCIONES QUÍMICAS QUE SE PRESENTAN EN LA FUSIÓN DE LA ALEACIÓN Y POR LAS IMPUREZAS EN LAS MATERIAS PRIMAS.

FOSFUROS, ÓXIDOS, SILICATOS, ALÚMINA, NITRUROS DE HIERRO, ETC.

**EXÓGENAS
O
ACCIDENTALES**



PROVIENEN DEL ARRASTRE ACCIDENTAL DE ESCORIA Y REFRACTARIO, MATERIAL DE LAS LINGOTERAS.

CLASIFICACIÓN DE ACEROS

Tabla 11.1. Sistema de designación AISI-SAE para aceros al carbono y de baja aleación.

Números y dígitos ^a	Tipo de acero y contenido nominal de la aleación ^b	Números y dígitos	Tipo de acero y contenido nominal de la aleación	Números y dígitos	Tipo de acero y contenido nominal de la aleación
Aceros al carbono			Aceros al níquel–cromo–molibdeno		
10XX(a)	Acero al carbono (máx. 1,00% Mn)	43XX	Ni 1,82; Cr 0,50 y 0,80; Mo 0,25	50XXX	Cr 0,50 C 1,00 min
11XX	Resulfurizado			51XXX	Cr 1,02 C 1,00 min
12XX	Resulfurizado y refosforizado	43BVXX	Ni 1,82; Cr 0,50; Mo 0,12 y 0,25;	52XXX	Cr 1,45 C 1,00 min
15XX	Acero al carbono (contenido Mn–1,00 hasta 1,65%)	47XX	V 0,03 min		
	Aceros al manganeso			61XX	Aceros al cromo–vanadio
13XX	Mn 1,75	81XX	Ni 0,30; Cr 0,40; Mo 0,12		Cr 0,60, 0,80 y 0,95; V 0,10 y 0,15 min
	Aceros al níquel	86XX	Ni 0,55; Cr 0,50; Mo 0,20		Aceros al wolframio–cromo
23XX	Ni 3,50	87XX	Ni 0,55; Cr 0,50; Mo 0,25	72XX	W 1,75; Cr 0,75
25XX	Ni 5,00	88X	Ni 0,55; Cr 0,50; Mo 0,35		
	Aceros al níquel–cromo	93XX	Ni 3,25; Cr 1,20; Mo 0,12		Aceros al silicio–manganeso
31XX	Ni 1,25; Cr 0,65 y 0,80	94XX	Ni 0,45; Cr 0,40; Mo 0,12	92XX	Si 1,40 y 2,00; Mn 0,65, 0,82 y 0,85; Cr 0,00 y 0,65
32XX	Ni 1,75; Cr 1,07	97XX	Ni 0,55; Cr 0,20; Mo 0,20		
33XX	Ni 3,50; Cr 1,50 y 1,57	98XX	Ni 1,00; Cr 0,80; Mo 0,25		Aceros de baja aleación y alta resistencia
34XX	Ni 3,00; Cr 0,77	46XX	Ni 0,85 y 1,82; Mo 0,20 y 0,25	9XX	Varios grados SAE
	Aceros al molibdeno	48XX	Ni 3,50; Mo 0,25		
40XX	Mo 0,20 y 0,25				Aceros al boro
44XX	Mo 0,40 y 0,52	50XX	Cr 0,27, 0,40, 0,50 y 0,65	XXBXX	La B indica acero al boro
	Aceros al cromo–molibdeno	51XX	Cr 0,80, 0,87, 0,92, 0,95, 1,00, y 1,05		Aceros al plomo
41XX	Cr 0,50, 0,80, y 0,95; Mo 0,12, 0,20, 0,25, y 0,30			XXLXX	La L indica acero al plomo

Propiedades mecánicas y aplicaciones típicas de algunos aceros de baja aleación.

Número AISI-SAE de aleación	Composición química % en peso	Tratamiento	Resistencia a la tracción		Resistencia a la fluencia		Alargamiento a rotura (%)	Aplicaciones típicas
			ksi	MPa	ksi	MPa		
Aceros al manganeso								
1,340	0,40 C, 1,75 Mn	Recocido	102	704	63	435	20	Pernos de alta resistencia.
		Revenido	230	1.587	206	1.421	12	
Aceros al cromo								
5,140	0,40 C, 0,80 Cr, 0,80 Mn	Recocido	83	573	43	297	29	Engranajes de transmisión en automóviles
		Revenido*	229	1.580	210	1.449	10	
5,160	0,60 C, 0,80 Cr, 0,90 Mn	Recocido	105	725	40	276	17	Resortes espirales y de láminas flexibles de automóviles.
		Revenido*	290	2.000	257	1.773	9	
Aceros al cromo-molibdeno								
4,140	0,40 C, 1,0 Cr, 0,9 Mn, 0,20 Mo	Recocido	95	655	61	421	26	Engranajes y transmisiones de turbinas de gas para aviones.
		Revenido*	225	1.550	208	1.433	9	
Aceros al níquel-molibdeno								
4,620	0,20 C, 1,83 Ni, 0,55 Mn, 0,25 Mo	Recocido	75	517	54	373	31	Engranajes de transmisión, pernos, ejes, rodadoras, fresas de acero.
4,820	0,20 C, 3,50 Ni, 0,60 Mn, 0,25 Mo	Normalizado	83	573	53	366	29	Mecanismos para papelería, minería y movimiento de tierra.
		Recocido	99	683	67	462	22	
		Normalizado	100	690	70	483	60	
Aceros al níquel (1,83%)-cromo-molibdeno								
4,340 (E)	0,40 C, 1,83 Ni, 0,90 Mn, 0,80 Cr, 0,20 Mo	Recocido	108	745	68	469	22	Secciones pesadas, trenes de aterrizaje, partes de camiones.
		Revenido*	250	1.725	230	1.587	10	
Aceros al níquel (0,55%)-cromo-molibdeno								
8,620	0,20 C, 0,55 Ni, 0,50 Cr, 0,80 Mn, 0,20 Mo	Recocido	77	531	59	407	31	Engranajes de transmisión.
8,650	0,50 C, 0,55 Ni, 0,50 Cr, 0,80 Mn, 0,20 Mo	Normalizado	92	635	52	359	26	Ejes y árboles de pequeñas máquinas.
		Recocido	103	710	56	386	22	
		Revenido*	250	1.725	225	1.562	10	