

NOMBRE DE LA PRESENTACIÓN: Aplicación de la Programación Lineal en el Planeamiento de la producción en una Acería

NOMBRE DEL AUTOR: Alejandro Jorge Vaquer

UNIVERSIDAD/EMPRESA: Universidad de Morón

Expositores
XIV COINI 2021



Biodata Alejandro Jorge Vaquer

Es Ingeniero Industrial de la Universidad de Buenos Aires. Diplomado Universitario en Educación de la Universidad de Morón (2015). "Chetic HERRAMIENTAS TIC EN EL MARCO DE LA WEB 2.0" de la Universidad de Morón (2017). "Gestión del Campus Virtual como Profesor" de la Universidad de Morón (2016).

Actualmente es Asesor de la Productividad desempeñándose como consultor. Entre 1983 y 2012 ocupó distintas posiciones desde analista de Ingeniería Industrial hasta gerenciales en áreas de Abastecimiento y Calidad Corporativa en Tenaris Siderca perteneciente al Grupo Techint.

Entre 1978 y 1983 ocupó responsabilidades en áreas de Investigación Operativa en YPF – Sede Central y ESSO Planta Campana.

Desde 1987 hasta la actualidad, en distintos períodos y según corresponda, es Profesor en la Universidad de Morón, el Instituto Tecnológico de Buenos Aires y la Universidad Nacional de la Matanza en las materias: Tecnología II, Organización Industrial A, Práctica Profesional Supervisada I y II, Marketing, Matemática, Investigación Operativa, Estadística, Probabilidad y Estadística, Álgebra Lineal y Director de Tesinas.

Recibió en 2016 - "Diploma de reconocimiento". UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES. 2012 - "Medalla a los 25 años de servicio". SIDERCA S.A.I.C. 2006 - "Medalla a los 25 años de servicio". UNIVERSIDAD DE MORON.

En 2019 y 2020 fue expositor en COINI en áreas de Educación, con ponencias vinculadas a Educación e Industria 4.0.

Para más información www.alejandrovaquer.com.ar o avaquer@unimoron.edu.ar

¿Qué es el acero?

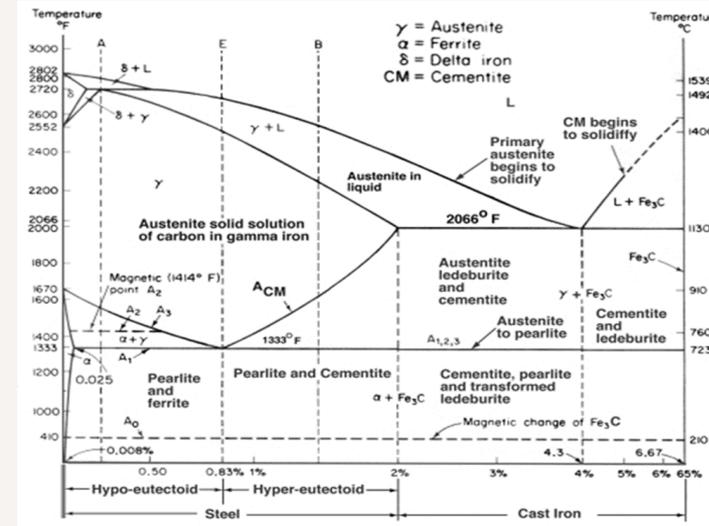
El acero es la aleación de hierro con pequeñas cantidades de carbono (hasta 2%) y otros elementos que actúan como aleantes, otorgando al acero diferentes características físicas y químicas.

Aceros al carbono: diferentes cantidades de C, Mn < 1,65%, Si y Cu < 0,60%. Usos en industria automotriz, naviera, mecánica, etc.

Aceros aleados: contienen Va, Mo, Nb, Mn, Si, en diferentes cantidades.

Tipos

Estructurales – Herramientas – Especiales - Aceros de baja aleación ultrarresistentes, vía tratamiento térmico las piezas adquieren gran resistencia



Fabricación del acero

Obtención DRI

El mineral de Fe en forma de lumps y/o pellets se reduce en una planta de reducción directa generando Fe esponja (así llamado porque el oxígeno que formaba el óxido de hierro se fue en el proceso de reducción y en su lugar quedaron agujeritos).

Existen dos tecnologías de reducción directa: Método Midrex y Hornos Rotatorios.

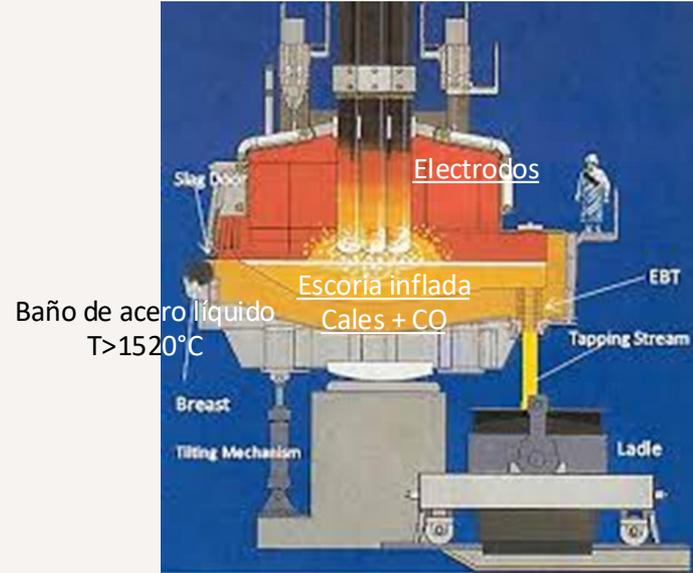
El Fe esponja tiene 92,5-93,5% de Fe; 2,2-2,4% C y 3,5% de ganga. Es fuente de Fe y C.

Horno Eléctrico

En el horno se funde una mezcla de Fe esponja con chatarra ferrosa. Al baño se agregan cales para formar escoria. Se sopla con oxígeno y argón para depurar las impurezas y enviarlas a la escoria. Después de un proceso de 40 a 70 min, dependiendo de la tecnología, se envía a estación secundaria para el afino. Y agregado de ferroaleaciones.

Carga de Fe esponja

Cesta con chatarra ferrosa



Baño de acero líquido
 T > 1520°C

Stirring O₂ y Ar

A metalurgia secundaria
Agregado
ferroaleaciones

Ejemplo a desarrollar

Estándar UIC

La Unión Internacional de Ferrocarriles (UIC del francés Union Internationale des Chemins de Fer) es la organización mundial que promueve el transporte por ferrocarril buscando la colaboración de todos los actores.

De los estándares aprobados, se eligió el que se muestra. Obtenido de la página web de Arcelor Mittal de Europa <https://rails.arcelormittal.com/productos/carril-transporte/composicion-quimica>.

A los efectos de esta presentación se tomaron tres grados de acero de los muchos que ofrece la empresa, de modo de tener las especificaciones según norma que son las que se introducen en el modelo matemático.

Norma	Grados de acero	Composición química						
		%C	%Mn	%Si	%P	%S	Max H ppm	Max O ppm
UIC-860-0 1986-2008	700	0,40 0,60	0,8 1,25	0,05 0,35	Max 0,05	Max 0,05	-	-
	900A	0,60 0,80	0,8 1,3	0,1 0,5	Max 0,04	Max 0,04	-	-
	900 B	0,55 0,75	1,3 1,7	0,1 0,5	Max 0,04	Max 0,04	-	-

El modelo matemático

Se resuelve en un espacio n dimensional.

En el ejercicio identificamos las siguientes variables:

X_1 : Cantidad mensual de Acero 700 a colar, medido en toneladas de acero líquido (TAL).

X_2 : Cantidad mensual de Acero 900A a colar, medido en TAL.

X_3 : Cantidad mensual de Acero 900B a colar, medido en TAL.

X_4 : Cantidad mensual de Chatarra ferrosa a consumir, medido en Ton.

X_5 : Cantidad mensual de Hierro Esponja a consumir, medido en Ton.

En cuanto a las restricciones:

- Cantidades mínimas y máximas a colar de cada tipo de acero.
- Disponibilidad máxima de Chatarra y DRI.
- Disponibilidad de energía eléctrica.

C	0,500%	X_1	+	0,700%	X_2	+	0,650%	X_3	-	1%	X_4	-	2,300%	X_5	≤ 0
Mn	1,025%	X_1	+	1,050%	X_2	+	1,500%	X_3							≥ 0
Si	0,200%	X_1	+	0,300%	X_2	+	0,300%	X_3							≥ 0
P	0,050%	X_1	+	0,040%	X_2	+	0,040%	X_3					-1%	X_5	≤ 0
S	0,050%	X_1	+	0,040%	X_2	+	0,040%	X_3					-1%	X_5	≤ 0
EE	0,400	X_1	+	0,400	X_2	+	0,400	X_3							≤ 50.000
Ac700		X_1													≥ 31.000
Ac700		X_1													≤ 62.000
Ac900A					X_2										≥ 8.500
Ac900A					X_2										≤ 17.700
Ac900B								X_3							≥ 4.400
Ac900B								X_3							≤ 8.800
Chatarra											X_4				≤ 50.000
DRI														X_5	≤ 60.000
Fe		X_1	+		X_2	+		X_3	-	99%	X_4	-	93%	X_5	$= 0$

Todas las variables son no negativas.

Funcional a optimizar: $Z(\text{Max}) = 3.000X_1 + 3.500X_2 + 2.500X_3 - 500X_4 - 400X_5$

El modelo matemático

- ✓ El modelo considera las composiciones de los aceros en cuanto a sus contenidos según Norma
- ✓ Contabiliza el consumo de energía eléctrica necesarios para el proceso.
- ✓ Calcula un funcional que valoriza las producciones de acero a contribución marginal y propone una mezcla óptima de Chatarra y DRI.
- ✓ 99% es el contenido estimado de hierro en la Chatarra, 1% el Carbono. 93% es el contenido estimado de hierro en DRI, 1% para Fósforo y Azufre respectivamente, y 2,3% de Carbono, el resto es ganga que va a la escoria.

C	0,500%	X ₁	+ 0,700%	X ₂	+ 0,650%	X ₃	- 1%	X ₄	- 2,300%	X ₅	≤ 0
Mn	1,025%	X ₁	+ 1,050%	X ₂	+ 1,500%	X ₃					≥ 0
Si	0,200%	X ₁	+ 0,300%	X ₂	+ 0,300%	X ₃					≥ 0
P	0,050%	X ₁	+ 0,040%	X ₂	+ 0,040%	X ₃			-1%	X ₅	≤ 0
S	0,050%	X ₁	+ 0,040%	X ₂	+ 0,040%	X ₃			-1%	X ₅	≤ 0
EE	0,400	X ₁	+ 0,400	X ₂	+ 0,400	X ₃					≤ 50.000
Ac700		X ₁									≥ 31.000
Ac700		X ₁									≤ 62.000
Ac900A				X ₂							≥ 8.500
Ac900A				X ₂							≤ 17.700
Ac900B						X ₃					≥ 4.400
Ac900B						X ₃					≤ 8.800
Chatarra								X ₄			≤ 50.000
DRI										X ₅	≤ 60.000
Fe		X ₁	+	X ₂	+	X ₃	- 99%	X ₄	- 93%	X ₅	= 0

Todas las variables son no negativas.

Funcional a optimizar: $Z(\text{Max}) = 3.000X_1 + 3.500X_2 + 2.500X_3 - 500X_4 - 400X_5$

Resolución del modelo

- ✓ El modelo se resolvió con el comando 'Solver' de Excel.
- ✓ Informa la cantidad de acero a colar por cada tipo.
- ✓ Informa el consumo de Chatarra y de DRI.
- ✓ Detalla el exceso de C por la Chatarra y DRI, lo que obliga a diseñar el proceso de fabricación para mantener bajo control a este elemento.
- ✓ Detalla el exceso de contaminación por P y S proveniente de la fuente DRI, lo que obliga a diseñar el proceso de fabricación para mantener bajo control a estos elementos.
- ✓ Informa el requerimiento de Mn a través de FeMn.
- ✓ Informa el requerimiento de Si a través de FeSi.
- ✓ Informa el consumo de energía eléctrica.
- ✓ Este modelo planifica la carga de la acería.
- ✓ El paso siguiente es la programación de las operaciones para satisfacer en el tiempo las necesidades de los clientes. Trabajo de los programadores de acería, tecnólogos y diseñadores de procesos.

Tabla sumario de la corrida

- ✓ En los datos de entrada para resolver el modelo se cargaron los valores medios de Norma para C, Mn y Si, los máximos admisibles para P y S.
- ✓ Las contribuciones marginales de los aceros se muestran en la Tabla como VM; estos valores son de prueba ya que para su cálculo es necesario conocer beneficios y costos reales.
- ✓ Análogamente, para definir el precio de la chatarra y el DRI se cargaron valores ficticios.
- ✓ En cuanto al consumo de energía eléctrica se establece un valor promedio en el orden de 0,4 MWH/TAL, aceptable según las prácticas actuales; la disponibilidad se establece en 50.000 MWH.
- ✓ Los valores estimados no quitan rigurosidad matemática al planteo.

Valor marginal acero		Consumo energético		
Acero	VM (USD/ton)	0,40	MWH/Ton	acero líquido
700	3000	50000	MWH	plan producción
900A	3500			
900B	2500			
Precios insumos				
Producto	Precio			
Chatarra	500 USD/Ton			precio chatarra procesada
FE	400 USD/Ton			Hierro esponja
Composición química				
Acero	Elemento	Max	Min	Define coef. de la matriz
700	C	0,60%	0,40%	
	Mn	1,25%	0,80%	
	Si	0,35%	0,05%	
	P	0,05%	0%	
	S	0,05%	0%	
900A	C	0,80%	0,60%	
	Mn	1,30%	0,80%	
	Si	0,50%	0,10%	
	P	0,04%	0%	
	S	0,04%	0%	
900B	C	0,75%	0,55%	
	Mn	1,70%	1,30%	
	Si	0,50%	0,10%	
	P	0,04%	0%	
	S	0,04%	0%	

Outputs del modelo en números

Acero 700	Acero 900A	Acero 900B	Chatarra	FE - DRI		RHS	Interpretación: para acería EAF con capacidad de 1.000.000 TAL/año
62.000,00	17.700,00	8.800,00	33.030,30	60.000,00	Resultados		TAL: toneladas de acero líquido
0,500%	0,700%	0,650%	-1%	-2,300%	-1.219,20	0	C negativo indica que las fuentes Chatarra y FE-DRI son superavitarias en C.
1,025%	1,050%	1,500%			953,35	0	Necesidad mensual de Mn en ton a satisfacer con FeMn
0,200%	0,300%	0,300%			203,50	0	Necesidad mensual de Si en ton a satisfacer con FeSi
0,050%	0,040%	0,040%		-1%	-558,40	0	P negativo es indicativo de la contaminación de la fuente FE-DRI.
0,050%	0,040%	0,040%		-1%	-558,40	0	S negativo es indicativo de la contaminación de la fuente FE-DRI.
0,400	0,400	0,400			35.400,00	50000	Consumo mensual de energía eléctrica en MWH medido a razón de 0,4 MWH/TAL
1					62.000,00	31000	Cantidad mensual mínima a fabricar de Acero 700
1					62.000,00	62000	Cantidad mensual máxima a fabricar de Acero 700
	1				17.700,00	8500	Cantidad mensual mínima a fabricar de Acero 900A
	1				17.700,00	17700	Cantidad mensual máxima a fabricar de Acero 900A
		1			8.800,00	4400	Cantidad mensual mínima a fabricar de Acero 900B
		1			8.800,00	8800	Cantidad mensual máxima a fabricar de Acero 900B
				1	60.000,00	60000	Disponibilidad de FE-DRI en ton para cumplir el programa mensual
			1		33.030,30	50000	Disponibilidad de Chatarra ferrosa en ton para cumplir el programa mensual
100%	100%	100%	-99%	-93%	0,00	0	Balace de producción, el contenido de Fe de los aceros lo da la chatarra y FE-DRI
3.000,00	3.500,00	2.500,00	-500,00	-400,00	229.434.848,48		Funcional a maximizar: contribución marginal de la producción.

RHS: right hand side

Análisis paramétrico

Celdas de variables

Celda	Nombre	Final	Reducció	Objetivo	Permisible	Permisible
		Valor	Coste	Coefficiente	Aumentar	Reducir
SB\$2	Variables Acero 700	62000	0	3000	1E+30	2494,949495
SC\$2	Variables Acero 900A	17700	0	3500	1E+30	2994,949495
SD\$2	Variables Acero 900B	8800	0	2500	1E+30	1994,949495
SE\$2	Variables Chatarra	33030,30303	0	-500	74,19354839	1974
SF\$2	Variables FE - DRI	60000	0	-400	1E+30	69,6969697

Restricciones

Celda	Nombre	Final	Sombra	Restricción	Permisible	Permisible
		Valor	Precio	Laño derecho	Aumentar	Reducir
SG\$9	Cantidad mensual mínima a fabricar de Acero 700	62000	0	31000	31000	1E+30
SG\$10	Cantidad mensual máxima a fabricar de Acero 700	62000	2494,949495	62000	16800	31000
SG\$11	Cantidad mensual mínima a fabricar de Acero 900A	17700	0	8500	9200	1E+30
SG\$12	Cantidad mensual máxima a fabricar de Acero 900A	17700	2994,949495	17700	16800	9200
SG\$13	Cantidad mensual mínima a fabricar de Acero 900B	8800	0	4400	4400	1E+30
SG\$14	Cantidad mensual máxima a fabricar de Acero 900B	8800	1994,949495	8800	16800	4400
SG\$15	Disponibilidad de FE-DRI en ton para cumplir el programa mensual	60000	69,6969697	60000	35161,29032	18064,51613
SG\$16	Disponibilidad de Chatarra ferrosa en ton para cumplir el programa mensual	33030,30303	0	50000	1E+30	16969,69697

Solución original

Acero 700	Acero 900A	Acero 900B	Chatarra	FE - DRI	Resultados	RHS
62.000,00	17.700,00	8.800,00	33.030,30	60.000,00		Interpretación: para acería EAF con capacidad de 1.000.000 TAL/año
0,500%	0,700%	0,650%	-1%	-2,300%	-1.219,20	TAL: toneladas de acero líquido
1,025%	1,050%	1,500%			963,35	0 C negativo indica que las fuentes Chatarra y FE-DRI son superavitarias en C.
0,200%	0,300%	0,300%			203,50	0 Necesidad mensual de Mn en ton a satisfacer con FeMn
0,050%	0,040%	0,040%		-1%	-558,40	0 Necesidad mensual de Si en ton a satisfacer con FeSi
0,050%	0,040%	0,040%		-1%	-558,40	0 P negativo es indicativo de la contaminación de la fuente FE-DRI.
0,400	0,400	0,400			35.400,00	0 S negativo es indicativo de la contaminación de la fuente FE-DRI.
1					50000	50000 Consumo mensual de energía eléctrica en MWH medido a razón de 0,4 MWH/TAL
1					62.000,00	31000 Cantidad mensual mínima a fabricar de Acero 700
	1				62.000,00	62000 Cantidad mensual máxima a fabricar de Acero 700
		1			17.700,00	8500 Cantidad mensual mínima a fabricar de Acero 900A
			1		17.700,00	17700 Cantidad mensual máxima a fabricar de Acero 900A
				1	8.800,00	4400 Cantidad mensual mínima a fabricar de Acero 900B
					8.800,00	8800 Cantidad mensual máxima a fabricar de Acero 900B
					60.000,00	60000 Disponibilidad de FE-DRI en ton para cumplir el programa mensual
					33.030,30	50000 Disponibilidad de Chatarra ferrosa en ton para cumplir el programa mensual
100%	100%	100%	-99%	-93%	0,00	0 Balance de producción, el contenido de Fe de los aceros lo da la chatarra y FE-DRI
3.000,00	3.500,00	2.500,00	-500,00	-400,00	228.434,848,48	Funcional a maximizar: contribución marginal de la producción.

Por ej. la contribución marginal del Acero 700 puede variar en más todo lo que se quiera (1E+30 se interpreta como infinito), en menos hasta 505,06 u\$\$/TAL inclusive. El plan de producción original se mantiene.

Se informan los límites mínimos y máximos entre los que pueden variar las cantidades a producir y las disponibilidades de Chatarra y DRI, asegurando que se mantenga el plan de producción en los valores de la solución óptima.

Análisis paramétrico - Contribución marginal del Acero 700 cae a 505,06 u\$/TAL

Variables	Acero 700	Acero 900A	Acero 900B	Chatarra	FE - DRI	Resultados	Interpretación: para acería EAF con capacidad de 1.000.000 TAL/año
	62.000,00	17.700,00	8.800,00	33.030,30	60.000,00		TAL: toneladas de acero líquido
C	0,500%	0,700%	0,650%	-1%	-2,300%	-1.219,20	C negativo indica que las fuentes Chatarra y FE-DRI son superavitarias en C.
MN	1,025%	1,050%	1,050%			963,35	0 Necesidad mensual de Mn en ton a satisfacer con FeMn
Si	0,200%	0,300%	0,300%			203,50	0 Necesidad mensual de Si en ton a satisfacer con FeSi
P	0,050%	0,040%	0,040%		-1%	-568,40	0 P negativo es indicativo de la contaminación de la fuente FE-DRI.
S	0,050%	0,040%	0,040%		-1%	-568,40	0 S negativo es indicativo de la contaminación de la fuente FE-DRI.
Energía	0,400	0,400	0,400			35.400,00	50000 Consumo mensual de energía eléctrica en MWH medido a razón de 0,4 MWH/TAL
Plan de	1					62.000,00	31000 Cantidad mensual mínima a fabricar de Acero 700
producción	1					62.000,00	62000 Cantidad mensual máxima a fabricar de Acero 700
		1				17.700,00	6500 Cantidad mensual mínima a fabricar de Acero 900A
			1			17.700,00	17700 Cantidad mensual máxima a fabricar de Acero 900A
				1		8.800,00	4400 Cantidad mensual mínima a fabricar de Acero 900B
					1	8.800,00	8800 Cantidad mensual máxima a fabricar de Acero 900B
Fe					1	60.000,00	60000 Disponibilidad de FE-DRI en ton para cumplir el programa mensual
Chatarra				1		33.030,30	50000 Disponibilidad de Chatarra férrosa en ton para cumplir el programa mensual
Balance Prod	100%	100%	100%	-89%	-93%	0,00	0 Balance de producción, el contenido de Fe de los aceros lo da la chatarra y FE-DRI
Funcional						74.740.668,48	Funcional a maximizar: contribución marginal de la producción.
Z (MAX)	505,06	3.500,00	2.500,00	-500,00	-400,00		

Solución original

Variables	Acero 700	Acero 900A	Acero 900B	Chatarra	FE - DRI	Resultados	RHS	Interpretación: para acería EAF con capacidad de 1.000.000 TAL/año
	62.000,00	17.700,00	8.800,00	33.030,30	60.000,00			TAL: toneladas de acero líquido
C	0,500%	0,700%	0,650%	-1%	-2,300%	-1.219,20	0	C negativo indica que las fuentes Chatarra y FE-DRI son superavitarias en C.
MN	1,025%	1,050%	1,050%			963,35	0	0 Necesidad mensual de Mn en ton a satisfacer con FeMn
Si	0,200%	0,300%	0,300%			203,50	0	0 Necesidad mensual de Si en ton a satisfacer con FeSi
P	0,050%	0,040%	0,040%		-1%	-568,40	0	0 P negativo es indicativo de la contaminación de la fuente FE-DRI.
S	0,050%	0,040%	0,040%		-1%	-568,40	0	0 S negativo es indicativo de la contaminación de la fuente FE-DRI.
Energía	0,400	0,400	0,400			35.400,00	50000	50000 Consumo mensual de energía eléctrica en MWH medido a razón de 0,4 MWH/TAL
Plan de	1					62.000,00	31000	31000 Cantidad mensual mínima a fabricar de Acero 700
producción	1					62.000,00	62000	62000 Cantidad mensual máxima a fabricar de Acero 700
		1				17.700,00	6500	6500 Cantidad mensual mínima a fabricar de Acero 900A
			1			17.700,00	17700	17700 Cantidad mensual máxima a fabricar de Acero 900A
				1		8.800,00	4400	4400 Cantidad mensual mínima a fabricar de Acero 900B
					1	8.800,00	8800	8800 Cantidad mensual máxima a fabricar de Acero 900B
Fe					1	60.000,00	60000	60000 Disponibilidad de FE-DRI en ton para cumplir el programa mensual
Chatarra				1		33.030,30	50000	50000 Disponibilidad de Chatarra férrosa en ton para cumplir el programa mensual
Balance Prod	100%	100%	100%	-89%	-93%	0,00	0	0 Balance de producción, el contenido de Fe de los aceros lo da la chatarra y FE-DRI
Funcional						228.434.848,48		Funcional a maximizar: contribución marginal de la producción.
Z (MAX)	3.000,00	3.500,00	2.500,00	-500,00	-400,00			

Algebraicamente seguimos en el mismo punto extremo óptimo del recinto. El parámetro aún sigue entre los valores donde la solución óptima se mantiene, en este caso elegimos el límite inferior. Todos los valores físicos se mantienen, disminuye el valor del funcional.

Análisis paramétrico - Contribución marginal del Acero 700 cae por debajo de 505,06 u\$/TAL

	Acero 700	Acero 900A	Acero 900B	Chatarra	FE - DRI		Interpretación: para acería EAF con capacidad de 1.000.000 TAL/año
Variables	31.000,00	17.700,00	8.800,00	1.717,17	60.000,00	Resultados	TAL: toneladas de acero líquido
C	0,500%	0,700%	0,650%	-1%	-2,300%	-1.061,07	C negativo indica que las fuentes Chatarra y FE-DRI son superavitarias en C.
MN	1,025%	1,050%	1,500%			635,60	0 Necesidad mensual de Mn en ton a satisfacer con FeIn
Si	0,200%	0,300%	0,300%			141,50	0 Necesidad mensual de Si en ton a satisfacer con FeSi
P	0,050%	0,040%	0,040%		-1%	-573,90	0 P negativo es indicativo de la contaminación de la fuente FE-DRI.
S	0,050%	0,040%	0,040%		-1%	-573,90	0 S negativo es indicativo de la contaminación de la fuente FE-DRI.
Energía	0,400	0,400	0,400			23.000,00	50000 Consumo mensual de energía eléctrica en MWH medido a razón de 0,4 MWH/TAL
Plan de producción	1					31.000,00	31000 Cantidad mensual mínima a fabricar de Acero 700
	1					31.000,00	62000 Cantidad mensual máxima a fabricar de Acero 700
		1				17.700,00	8500 Cantidad mensual mínima a fabricar de Acero 900A
		1				17.700,00	17700 Cantidad mensual máxima a fabricar de Acero 900A
			1			8.800,00	4400 Cantidad mensual mínima a fabricar de Acero 900B
			1			8.800,00	8800 Cantidad mensual máxima a fabricar de Acero 900B
Fe					1	60.000,00	60000 Disponibilidad de FE-DRI en ton para cumplir el programa mensual
Chatarra				1		1.717,17	50000 Disponibilidad de Chatarra ferrosa en ton para cumplir el programa mensual
Balance Prod. Funcional	100%	100%	100%	-99%	-93%	0,00	0 Balance de producción, el contenido de Fe de los aceros lo da la chatarra y FE-DRI
Z(MÁX)	505,00	3.500,00	2.500,00	-500,00	-400,00	74.746.414,14	Funcional a maximizar: contribución marginal de la producción.

Solución original

	Acero 700	Acero 900A	Acero 900B	Chatarra	FE - DRI		Interpretación: para acería EAF con capacidad de 1.000.000 TAL/año
Variables	62.000,00	17.700,00	8.800,00	33.030,30	60.000,00	Resultados	TAL: toneladas de acero líquido
C	0,500%	0,700%	0,650%	-1%	-2,300%	-1.219,20	0 C negativo indica que las fuentes Chatarra y FE-DRI son superavitarias en C.
MN	1,025%	1,050%	1,500%			953,35	0 Necesidad mensual de Mn en ton a satisfacer con FeIn
Si	0,200%	0,300%	0,300%			203,50	0 Necesidad mensual de Si en ton a satisfacer con FeSi
P	0,050%	0,040%	0,040%		-1%	-558,40	0 P negativo es indicativo de la contaminación de la fuente FE-DRI.
S	0,050%	0,040%	0,040%		-1%	-558,40	0 S negativo es indicativo de la contaminación de la fuente FE-DRI.
Energía	0,400	0,400	0,400			35.400,00	50000 Consumo mensual de energía eléctrica en MWH medido a razón de 0,4 MWH/TAL
Plan de producción	1					62.000,00	31000 Cantidad mensual mínima a fabricar de Acero 700
	1					62.000,00	62000 Cantidad mensual máxima a fabricar de Acero 700
		1				17.700,00	8500 Cantidad mensual mínima a fabricar de Acero 900A
		1				17.700,00	17700 Cantidad mensual máxima a fabricar de Acero 900A
			1			8.800,00	4400 Cantidad mensual mínima a fabricar de Acero 900B
			1			8.800,00	8800 Cantidad mensual máxima a fabricar de Acero 900B
Fe					1	60.000,00	60000 Disponibilidad de FE-DRI en ton para cumplir el programa mensual
Chatarra				1		33.030,30	50000 Disponibilidad de Chatarra ferrosa en ton para cumplir el programa mensual
Balance Prod. Funcional	100%	100%	100%	-99%	-93%	0,00	0 Balance de producción, el contenido de Fe de los aceros lo da la chatarra y FE-DRI
Z(MÁX)	3.000,00	3.500,00	2.500,00	-500,00	-400,00	229.434.848,48	Funcional a maximizar: contribución marginal de la producción.

Para cualquier contribución marginal menor a 505,06 u\$/TAL hace que el modelo elija hacer lo mínimo mandatorio de este acero y sigue haciendo lo máximo de los otros. Además, cambiaron los requerimientos de decarburización, ferroaleaciones, nivel de impurezas y demanda de energía. El modelo elije priorizar el consumo de DRI sobre la Chatarra por tener un precio menor, así maximiza el funcional dentro de las nuevas condiciones de proceso.

Análisis paramétrico – Precio de la Chatarra cae a 425,81 u\$\$/ton

	Acero 700	Acero 900A	Acero 900B	Chatarra	FE - DRI		Interpretación: para acería EAF con capacidad de 1.000.000 TAl/año
Variables	62.000,00	17.700,00	8.800,00	33.030,30	60.000,00	Resultados	TAL: toneladas de acero líquido
C	0,500%	0,700%	0,650%	-1%	-2,300%	-1.219,20	C negativo indica que las fuentes Chatarra y FE-DRI son superavitarias en C.
MN	1,025%	1,050%	1,500%			953,35	0 Necesidad mensual de Mn en ton a satisfacer con FeIn
Si	0,200%	0,300%	0,300%			203,50	0 Necesidad mensual de Si en ton a satisfacer con FeSi
P	0,050%	0,040%	0,040%		-1%	-558,40	0 P negativo es indicativo de la contaminación de la fuente FE-DRI.
S	0,050%	0,040%	0,040%		-1%	-558,40	0 S negativo es indicativo de la contaminación de la fuente FE-DRI.
Energía	0,400	0,400	0,400			35.400,00	50000 Consumo mensual de energía eléctrica en MWH medido a razón de 0,4 MWH/TAL
Plan de producción	1					62.000,00	31000 Cantidad mensual mínima a fabricar de Acero 700
		1				62.000,00	62000 Cantidad mensual máxima a fabricar de Acero 700
			1			17.700,00	8500 Cantidad mensual mínima a fabricar de Acero 900A
				1		17.700,00	17700 Cantidad mensual máxima a fabricar de Acero 900A
					1	8.800,00	4400 Cantidad mensual mínima a fabricar de Acero 900B
						8.800,00	8800 Cantidad mensual máxima a fabricar de Acero 900B
Fe					1	60.000,00	60000 Disponibilidad de FE-DRI en ton para cumplir el programa mensual
Chatarra				1		33.030,30	50000 Disponibilidad de Chatarra ferrosa en ton para cumplir el programa mensual
Balance Prod. Funcional	100%	100%	100%	-99%	-93%	0,00	0 Balance de producción, el contenido de Fe de los aceros lo da la chatarra y FE-DRI
Z(MAX)	3.000,00	3.500,00	2.500,00	-425,81	-400,00	231.885.386,67	Funcional a maximizar: contribución marginal de la producción.

Solución original

	Acero 700	Acero 900A	Acero 900B	Chatarra	FE - DRI		Interpretación: para acería EAF con capacidad de 1.000.000 TAl/año
Variables	62.000,00	17.700,00	8.800,00	33.030,30	60.000,00	Resultados	TAL: toneladas de acero líquido
C	0,500%	0,700%	0,650%	-1%	-2,300%	-1.219,20	0 C negativo indica que las fuentes Chatarra y FE-DRI son superavitarias en C.
MN	1,025%	1,050%	1,500%			953,35	0 Necesidad mensual de Mn en ton a satisfacer con FeIn
Si	0,200%	0,300%	0,300%			203,50	0 Necesidad mensual de Si en ton a satisfacer con FeSi
P	0,050%	0,040%	0,040%		-1%	-558,40	0 P negativo es indicativo de la contaminación de la fuente FE-DRI.
S	0,050%	0,040%	0,040%		-1%	-558,40	0 S negativo es indicativo de la contaminación de la fuente FE-DRI.
Energía	0,400	0,400	0,400			35.400,00	50000 Consumo mensual de energía eléctrica en MWH medido a razón de 0,4 MWH/TAL
Plan de producción	1					62.000,00	31000 Cantidad mensual mínima a fabricar de Acero 700
		1				62.000,00	62000 Cantidad mensual máxima a fabricar de Acero 700
			1			17.700,00	8500 Cantidad mensual mínima a fabricar de Acero 900A
				1		17.700,00	17700 Cantidad mensual máxima a fabricar de Acero 900A
					1	8.800,00	4400 Cantidad mensual mínima a fabricar de Acero 900B
						8.800,00	8800 Cantidad mensual máxima a fabricar de Acero 900B
Fe					1	60.000,00	60000 Disponibilidad de FE-DRI en ton para cumplir el programa mensual
Chatarra				1		33.030,30	50000 Disponibilidad de Chatarra ferrosa en ton para cumplir el programa mensual
Balance Prod. Funcional	100%	100%	100%	-99%	-93%	0,00	0 Balance de producción, el contenido de Fe de los aceros lo da la chatarra y FE-DRI
Z(MAX)	3.000,00	3.500,00	2.500,00	-500,00	-400,00	229.434.848,48	Funcional a maximizar: contribución marginal de la producción.

Según el análisis paramétrico, el precio de la chatarra puede variar entre u\$ 425,81 y u\$ 2.474, como el valor está en el límite mínimo del intervalo, seguimos en el mismo punto óptimo del recinto de soluciones.

Análisis paramétrico – Precio de la Chatarra cae por debajo de 425,81 u\$/ton

	Acero 700	Acero 900A	Acero 900B	Chatarra	FE - DRI		Interpretación: para acería EAF con capacidad de 1.000.000 TAl/año
Variables	62.000,00	17.700,00	8.800,00	50.000,00	41.935,40	Resultados	TAL: toneladas de acero líquido
C	0,500%	0,700%	0,650%	-1%	-2,300%	-973,42	C negativo indica que las fuentes Chatarra y FE-DRI son superavitarias en C.
MN	1,025%	1,050%	1,500%			953,35	Necesidad mensual de Mn en ton a satisfacer con FeIn
Si	0,200%	0,300%	0,300%			203,50	Necesidad mensual de Si en ton a satisfacer con FeSi
P	0,050%	0,040%	0,040%		-1%	-377,75	P negativo es indicativo de la contaminación de la fuente FE-DRI.
S	0,050%	0,040%	0,040%		-1%	-377,75	S negativo es indicativo de la contaminación de la fuente FE-DRI.
Energía	0,400	0,400	0,400			35.400,00	Consumo mensual de energía eléctrica en MWH medido a razón de 0,4 MWH/TAL
Plan de producción	1					62.000,00	Cantidad mensual mínima a fabricar de Acero 700
	1					62.000,00	Cantidad mensual máxima a fabricar de Acero 700
		1				17.700,00	Cantidad mensual mínima a fabricar de Acero 900A
		1				17.700,00	Cantidad mensual máxima a fabricar de Acero 900A
			1			8.800,00	Cantidad mensual mínima a fabricar de Acero 900B
			1			8.800,00	Cantidad mensual máxima a fabricar de Acero 900B
Fe					1	41.935,40	Disponibilidad de FE-DRI en ton para cumplir el programa mensual
Chatarra				1		50.000,00	Disponibilidad de Chatarra ferrosa en ton para cumplir el programa mensual
Balance Prod. Funcional	100%	100%	100%	-99%	-93%	0,00	Balace de producción, el contenido de Fe de los aceros lo da la chatarra y FE-DRI
Z(MAX)	3.000,00	3.500,00	2.500,00	-425,00	-400,00	221.925.806,45	Funcional a maximizar: contribución marginal de la producción.

Solución original

	Acero 700	Acero 900A	Acero 900B	Chatarra	FE - DRI		Interpretación: para acería EAF con capacidad de 1.000.000 TAl/año
Variables	62.000,00	17.700,00	8.800,00	33.030,30	60.000,00	Resultados	TAL: toneladas de acero líquido
C	0,500%	0,700%	0,650%	-1%	-2,300%	-1.219,20	C negativo indica que las fuentes Chatarra y FE-DRI son superavitarias en C.
MN	1,025%	1,050%	1,500%			953,35	Necesidad mensual de Mn en ton a satisfacer con FeIn
Si	0,200%	0,300%	0,300%			203,50	Necesidad mensual de Si en ton a satisfacer con FeSi
P	0,050%	0,040%	0,040%		-1%	-558,40	P negativo es indicativo de la contaminación de la fuente FE-DRI.
S	0,050%	0,040%	0,040%		-1%	-558,40	S negativo es indicativo de la contaminación de la fuente FE-DRI.
Energía	0,400	0,400	0,400			35.400,00	Consumo mensual de energía eléctrica en MWH medido a razón de 0,4 MWH/TAL
Plan de producción	1					62.000,00	Cantidad mensual mínima a fabricar de Acero 700
	1					62.000,00	Cantidad mensual máxima a fabricar de Acero 700
		1				17.700,00	Cantidad mensual mínima a fabricar de Acero 900A
		1				17.700,00	Cantidad mensual máxima a fabricar de Acero 900A
			1			8.800,00	Cantidad mensual mínima a fabricar de Acero 900B
			1			8.800,00	Cantidad mensual máxima a fabricar de Acero 900B
Fe					1	60.000,00	Disponibilidad de FE-DRI en ton para cumplir el programa mensual
Chatarra					1	33.030,30	Disponibilidad de Chatarra ferrosa en ton para cumplir el programa mensual
Balance Prod. Funcional	100%	100%	100%	-99%	-93%	0,00	Balace de producción, el contenido de Fe de los aceros lo da la chatarra y FE-DRI
Z(MAX)	3.000,00	3.500,00	2.500,00	-500,00	-400,00	229.434.848,40	Funcional a maximizar: contribución marginal de la producción.

El programa de producción se mantiene pero se consume toda la Chatarra disponible en detrimento del DRI. Cambian la cantidad de ferroaleaciones necesarias y la decarburización.

Análisis paramétrico – Disponibilidad de Chatarra

	Acero 700	Acero 900A	Acero 900B	Chatarra	FE - DRI		Interpretación: para acería EAF con capacidad de 1.000.000 TAl/año
Variables	53.500,00	17.700,00	4.400,00	20.000,00	60.000,00	Resultados	TAL: toneladas de acero líquido
C	0,500%	0,700%	0,650%	-1%	-2,300%	-1.160,00	C negativo indica que las fuentes Chatarra y FE-DRI son superavitarias en C.
Mn	1,025%	1,050%	1,500%			800,22	Necesidad mensual de Mn en ton a satisfacer con FeIn
Si	0,200%	0,300%	0,300%			173,30	Necesidad mensual de Si en ton a satisfacer con FeSi
P	0,050%	0,040%	0,040%		-1%	-564,41	P negativo es indicativo de la contaminación de la fuente FE-DRI.
S	0,050%	0,040%	0,040%		-1%	-564,41	S negativo es indicativo de la contaminación de la fuente FE-DRI.
Energía	0,400	0,400	0,400			30.240,00	Consumo mensual de energía eléctrica en MWH medido a razón de 0,4 MWH/TAL
Plan de producción	1					53.500,00	Cantidad mensual mínima a fabricar de Acero 700
	1					53.500,00	Cantidad mensual máxima a fabricar de Acero 700
		1				17.700,00	Cantidad mensual mínima a fabricar de Acero 900A
		1				17.700,00	Cantidad mensual máxima a fabricar de Acero 900A
			1			4.400,00	Cantidad mensual mínima a fabricar de Acero 900B
			1			4.400,00	Cantidad mensual máxima a fabricar de Acero 900B
Fe					1	60.000,00	Disponibilidad de FE-DRI en ton para cumplir el programa mensual
Chatarra				1		20.000,00	Disponibilidad de Chatarra ferrosa en ton para cumplir el programa mensual
Balance Prod. Funcional	100%	100%	100%	-99%	-93%	0,00	Balance de producción, el contenido de Fe de los aceros lo da la chatarra y FE-DRI
Z(MÁX)	3.000,00	3.500,00	2.500,00	-500,00	-400,00	199.450.000,00	Funcional a maximizar: contribución marginal de la producción.

Solución original

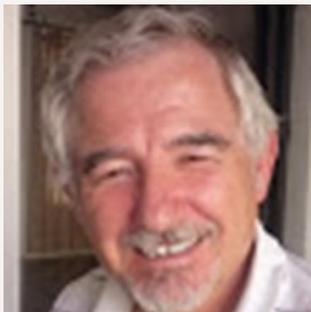
Acero 700	Acero 900A	Acero 900B	Chatarra	FE - DRI		RHS	Interpretación: para acería EAF con capacidad de 1.000.000 TAl/año
62.000,00	17.700,00	8.800,00	33.030,30	60.000,00	Resultados		TAL: toneladas de acero líquido
0,500%	0,700%	0,650%	-1%	-2,300%	-1.219,20	0	C negativo indica que las fuentes Chatarra y FE-DRI son superavitarias en C.
1,025%	1,050%	1,500%			953,35	0	Necesidad mensual de Mn en ton a satisfacer con FeIn
0,200%	0,300%	0,300%			203,50	0	Necesidad mensual de Si en ton a satisfacer con FeSi
0,050%	0,040%	0,040%		-1%	-558,40	0	P negativo es indicativo de la contaminación de la fuente FE-DRI.
0,050%	0,040%	0,040%		-1%	-558,40	0	S negativo es indicativo de la contaminación de la fuente FE-DRI.
0,400	0,400	0,400			35.400,00	50000	Consumo mensual de energía eléctrica en MWH medido a razón de 0,4 MWH/TAL
1					62.000,00	31000	Cantidad mensual mínima a fabricar de Acero 700
1					62.000,00	62000	Cantidad mensual máxima a fabricar de Acero 700
	1				17.700,00	8500	Cantidad mensual mínima a fabricar de Acero 900A
	1				17.700,00	17700	Cantidad mensual máxima a fabricar de Acero 900A
		1			8.800,00	4400	Cantidad mensual mínima a fabricar de Acero 900B
		1			8.800,00	8800	Cantidad mensual máxima a fabricar de Acero 900B
				1	60.000,00	60000	Disponibilidad de FE-DRI en ton para cumplir el programa mensual
				1	33.030,30	50000	Disponibilidad de Chatarra ferrosa en ton para cumplir el programa mensual
100%	100%	100%	-99%	-93%	0,00	0	Balance de producción, el contenido de Fe de los aceros lo da la chatarra y FE-DRI
3.000,00	3.500,00	2.500,00	-500,00	-400,00	229.434.848,48		Funcional a maximizar: contribución marginal de la producción.

El análisis paramétrico dice que si la disponibilidad mensual de Chatarra cae hasta 33.030,30 Ton, el programa óptimo no se modifica. Es interesante ver qué sucede con una disminución mayor. Digamos 20.000 Ton. El modelo consume ahora todo el DRI disponible además de la Chatarra. Cambian la cantidad de ferroaleaciones necesarias y la decarburización.

Los requerimientos que surgen de un plan de producción se tratan, entre Otros, en la Dirección de Abastecimientos. Allí, se emiten los documentos de compra que habilitan a los proveedores la entrega de los diferentes productos necesarios para la producción. Se negocian entregas en tiempo y forma. En esta dinámica se ubica la provisión de mineral de hierro, chatarra, ferroaleaciones, y todos los productos necesarios para producir acero. En la medida en que se conozca la información explicada arriba, la gestión se enriquece. A los efectos que se vea la importancia de tener tal conocimiento de precios, disponibilidades y calidades de los insumos de producción, se muestra un esquema del sistema de abastecimientos de un empresa siderometalúrgica típica donde queda a las claras las relaciones que exigen la administración científica, dinámica y precisa de la gestión de compras.

Dinámica del Abastecimiento





DATOS DE CONTACTO

APELLIDO Y NOMBRE: Vaquer, Alejandro Jorge

MAIL: avaquer@unimoron.edu.ar

RRSS: 



COINI 2021

XIV Congreso Internacional de Ingeniería Industrial y Afines
Economía - Organización - Administración - Otras ingenierías