

HORNOS DE OXÍGENO BÁSICO DE LAS ACERÍAS

ACTIVIDADES CUBIERTAS SEGÚN NOMENCLATURA	
NOMENCLATURA	CÓDIGO
SNAP 97	04.02.06
CRF	2C1a
NFR	2C1

Descripción de los procesos generadores de emisiones

En esta ficha se describen los procesos que tienen lugar en los hornos de oxígeno básico, así como los contaminantes asociados a esta actividad.

Los hornos de oxígeno básico son elementos fundamentales en las plantas de siderurgia integral¹ y tienen como finalidad transformar el arrabio procedente de los hornos altos en **acero**. El arrabio es hierro líquido al que acompañan otros elementos en una proporción aproximada de: 4,5% de carbono, 0,5% de silicio, 0,05% de azufre y 0,5% de manganeso². Este alto contenido en carbono y el resto de impurezas lo hacen muy frágil como material, teniendo, por consiguiente, unos usos limitados. Por ello, para la obtención del **acero**, resulta necesario un proceso de refinado del arrabio.

En la planta de fabricación de acero se lleva a cabo este proceso de refinamiento en dos etapas:

- i. Reducción del contenido en carbono y eliminación de impurezas (HORNOS DE OXÍGENO BÁSICO)
- ii. Adición de ferroaleaciones, que son elementos que confieren al acero unas propiedades específicas (METALURGIA SECUNDARIA)

A continuación se detallan cada uno de estos procesos:

i. Hornos de Oxígeno Básico (Fase de reducción del contenido en carbono y eliminación de impurezas) (Figura 1)

Básicamente, el proceso de refinación consiste en un **proceso de oxidación** del carbono contenido en el arrabio. El proceso se lleva a cabo en el horno de oxígeno básico, que es una cubeta basculante de acero recubierta interiormente de material refractario. El oxígeno necesario para esta operación se obtiene tanto del aire como de óxidos férricos en forma de chatarra. Para realizar la carga, el convertidor se coloca en posición inclinada, introduciéndose entonces el arrabio líquido (previamente desulfurado) y la chatarra, en una proporción aproximada de un 80% y 20% respectivamente³. A continuación, en posición vertical, se inyecta oxígeno mediante una lanza durante unos 20 minutos, al mismo tiempo que se añade el fundente (caliza o dolomía), y se quema hasta que se alcanzan los niveles necesarios de carbono, que se miden con sondas de muestra.

Así, al oxidarse el carbono con el aire, se liberan monóxido y dióxido de carbono en forma de gas, mientras que las impurezas de silicio, manganeso y fósforo forman óxidos que se escapan con la escoria. Al inyectar el oxígeno, se producen una serie de reacciones de oxidación altamente exotérmicas, por lo que no es preciso el empleo de combustibles en esta operación. Las temperaturas alcanzadas en el proceso rondan los 1.650°C de temperatura.

Tras cesar el aporte de oxígeno, se obtiene una muestra del metal fundido, que se somete a análisis para determinar su composición. De acuerdo con los resultados, se puede añadir más oxígeno, inyectándolo, o más mineral. Cuando se obtiene la composición deseada, se sangra el horno para obtener el acero líquido y, a continuación, se elimina la escoria sobrenadante.

Durante todo el ciclo circulan gases inertes como nitrógeno y argón (durante cada soplado y resoplado) para agitar o remover el contenido del convertidor y para mantenerlo limpio de elementos durante la duración de la campaña.

El resultado es un acero de bajo contenido en carbono, que no es considerado todavía como totalmente acabado. Es necesario completar las operaciones de afino en una segunda fase conocida como metalurgia secundaria.

¹ Se conoce como siderurgia integral a la planta industrial dedicada al proceso completo de producir acero a partir del mineral de hierro (hornos altos), mientras que la siderurgia no integral (acería eléctrica) utiliza como materia prima fundamental la chatarra férrica.

² Fuente: Universidad de Oviedo- Departamento de Ciencias de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica-.

³ Fuente: Universidad de Buenos Aires- Facultad de Ingeniería-.

Flujo de Proceso del BOF

Process flow of BOF

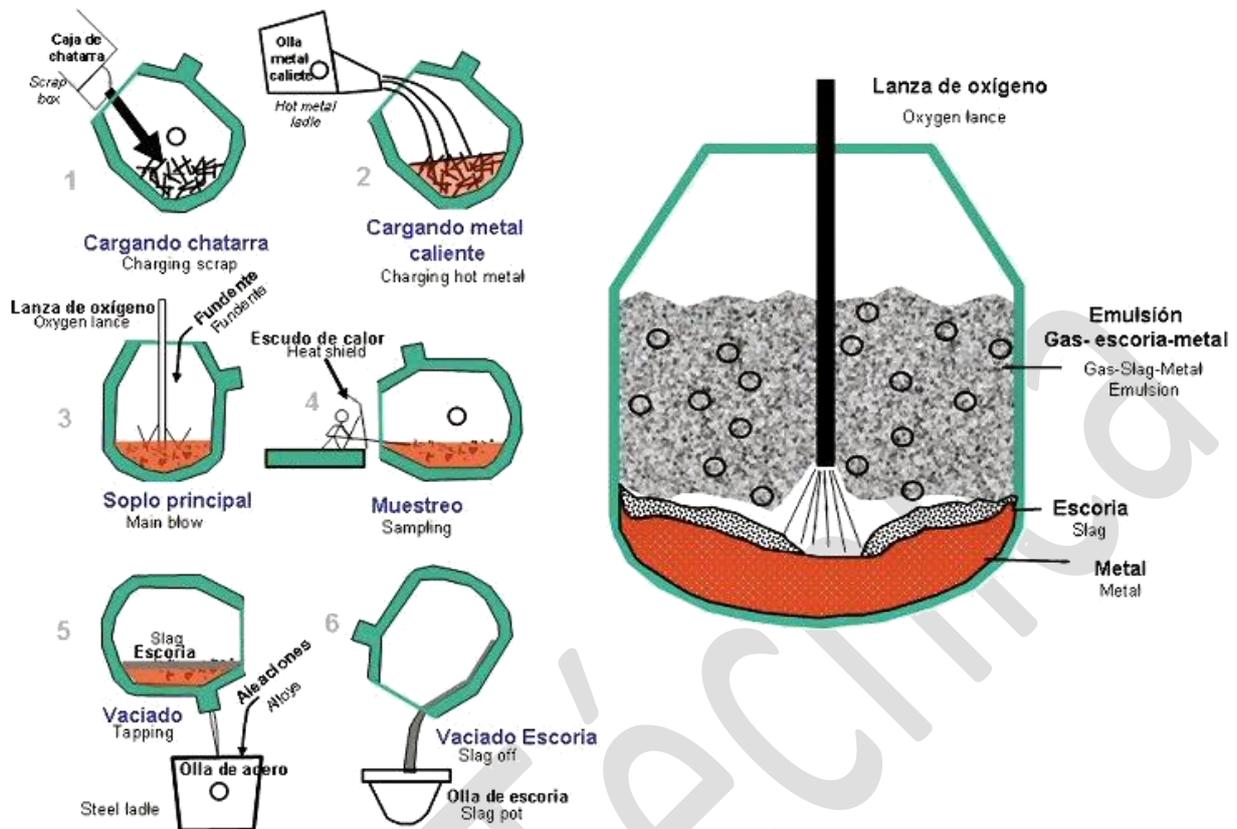


Figura 1. Esquema del proceso de fabricación de acero en los hornos básicos de oxígeno (Fuente: Universidad Autónoma "Gabriel René Moreno". Bolivia)

ii. Metalurgia secundaria:

En esta fase, el acero en bruto debe afinarse todavía más, ajustando su composición y temperatura. Con este objetivo, se mezcla con aditivos para formar aleaciones con otros elementos (cromo, boro, wolframio, molibdeno, cobre, níquel, etc.) que aportarán nuevas propiedades y facilitarán tratamientos posteriores del acero. A continuación, se lleva a cabo un segundo ciclo de soplado antes de su paso a las instalaciones de colada y laminación posterior.

La metalurgia secundaria tiene lugar en equipos diversos, tales como hornos de cuchara, convertidores e instalaciones de vacío.

Las técnicas que se utilizan son variadas: vacío, agitación con gas inerte, con oxígeno y con gases reactivos.

A continuación, la Figura 2 ilustra, de manera esquemática, el proceso llevado a cabo en un horno de oxígeno básico, así como su relación con otros procesos dentro y fuera de la industria siderúrgica.

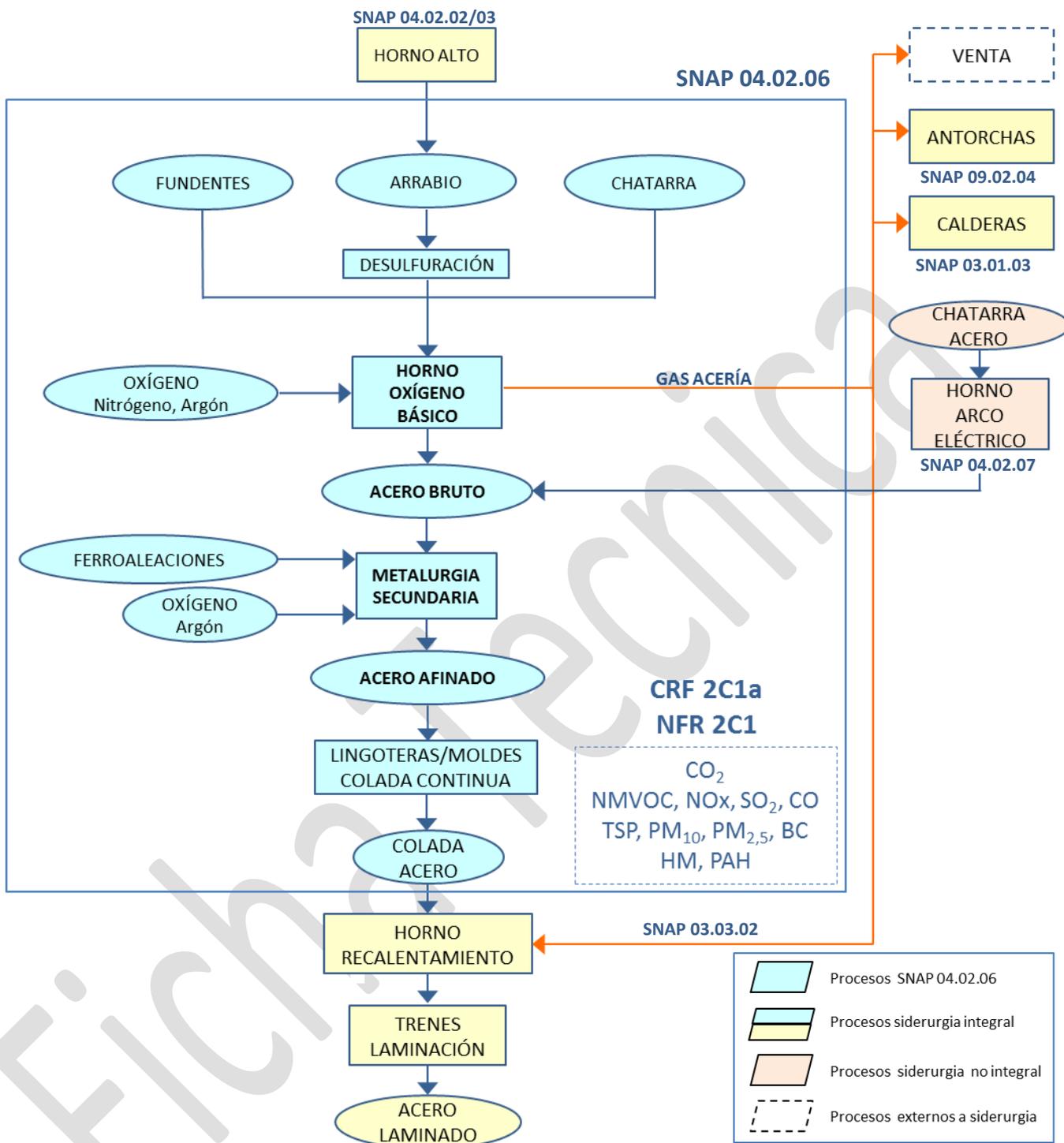


Figura 2. Esquema proceso afinado del acero en los hornos de oxígeno básico y su relación con otras actividades (Elaboración propia)

Contaminantes inventariados

Gases de efecto invernadero

CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HFCs	PFCs	SF ₆
✓	-	NA	NA	NA	NA

OBSERVACIONES:

- *Notation Keys* correspondientes al último reporte a UNFCCC
- Las celdas que no incluyen *Notation Keys* son casos en los que se reportan emisiones en la categoría CRF correspondiente, pero no son atribuibles a esta actividad

Contaminantes atmosféricos

Contaminantes principales				Material particulado				Otros	Metales pesados prioritarios			Metales pesados adicionales					Contaminantes orgánicos persistentes				
NO _x	NM _{VOC}	SO ₂	NH ₃	PM _{2.5}	PM ₁₀	TSP	BC	CO	Pb	Cd	Hg	As	Cr	Cu	Ni	Se	Zn	DIOX	PAH	HCB	PCB
✓	✓	✓	NE	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	-	-

OBSERVACIONES:

- *Notation Keys* correspondientes al último reporte a CLRTAP
- Las celdas que no incluyen *Notation Keys* son casos en los que se reportan emisiones en la categoría NFR correspondiente, pero no son atribuibles a esta actividad

Sectores del Inventario vinculados

Las actividades del Inventario relacionadas con la presente ficha metodológica son las siguientes:

RELACIÓN CON OTRAS FICHAS METODOLÓGICAS			
ACTIVIDAD SNAP	ACTIVIDAD CRF	ACTIVIDAD NFR	DESCRIPCIÓN
01.04.06	1A1ci	1A1c	Plantas de transformación de combustibles sólidos
03.01.03	1A2a	1A2	Combustión estacionaria industrial no específica
03.02.03	1A2a	1A2a	Cowpers de hornos altos
03.03.01	1A2a		Plantas de sinterización (combustión)
03.03.02	1A2a		Hornos de recalentamiento de hierro y acero (*)
03.02.05	1A2a/1A2b	1A2a/1A2b	Combustión en otros hornos sin contacto
04.02.01	1B1b	1B1b	Apertura y extinción de los hornos de coque
04.02.02	2C1b	2C1	Carga de hornos altos y coladas de arrabio
04.02.03			Laminación de acero
04.02.08	2C1f		Plantas de sinterización (emisiones de proceso)
04.02.09	2C1d		
09.02.04	2C1f		Antorchas en siderurgia y coquerías

*: En esta actividad se han computado las emisiones de ciertas instalaciones auxiliares en los procesos de las plantas siderúrgicas integrales (acería LD, hornos altos, etc.), al no disponer en la nomenclatura SNAP de una actividad específica para estas instalaciones

Descripción metodológica general

Contaminante	Tier	Fuente	Descripción
CO ₂	T2	IQ	Balace de masa de carbono entre las entradas y salidas a la acería, computando el carbono diferencial que quedaría tras descontar, de la masa de carbono de las entradas, la masa de carbono de los productos inventariados en las salidas
NO _x , NMVOC, SO ₂	T3	IQ	- Emisiones medidas - Aplicación de un factor de emisión implícito basado en emisiones medidas
TSP, PM ₁₀	T3	IQ	- Emisiones medidas - Aplicación de un factor de emisión implícito basado en emisiones medidas
PM _{2,5}	T2	Guías CEPMEIP	Aplicación, sobre las emisiones de PM ₁₀ , de la ratio propuesta por CEPMEIP de relación entre emisiones de PM _{2,5} con respecto a PM ₁₀
BC	T2	Guías CEPMEIP	Aplicación, sobre las emisiones de PM _{2,5} , de la ratio propuesta por CEPMEIP de relación entre emisiones de BC con respecto a PM _{2,5}
CO	T2/T3	IQ	- Emisiones medidas - Aplicación de un factor de emisión implícito basado en emisiones medidas
As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn	T2/T3	IQ	- Emisiones medidas - Aplicación de un factor de emisión implícito basado en emisiones
Se	T2	Guía EMEP/CORINAIR 1996, Capítulo 4.2.6	Aplicación de un factor de emisión por defecto a la producción de acero
PAH	T3	IQ	- Emisiones medidas - Aplicación de un factor de emisión implícito basado en emisiones

Variable de actividad

Variable	Descripción
Producción de acero	Expresada en toneladas

Fuentes de información sobre la variable de actividad

Producción de acero	
Periodo	Fuente
1990-2016	Cuestionarios individualizados (IQ) facilitados por las plantas de siderurgia integral existentes en España

En la actualidad existen en España 2 plantas de siderurgia integral y 26 de siderurgia no integral.

Las plantas siderúrgicas integrales consideradas en el periodo se resumen en la siguiente Figura. Cabe señalar que actualmente sólo están en funcionamiento los hornos altos de Gijón.



Figura 3. Distribución de las plantas siderúrgicas integrales en España (Fuente: Elaboración propia)

Fuente de los factores de emisión

Contaminante	Tipo	Fuente	Descripción
CO ₂	CS	IQ	Se realiza el balance de carbono con la información facilitada por la planta, computando el carbono diferencial que quedaría tras descontar de la masa de carbono de las materias entrantes, la masa de carbono de los productos inventariados en las salidas. Las emisiones de CO ₂ se derivan de la masa de este carbono diferencial elevada a la ratio 44/12
NMVOC, NO _x , SO ₂	CS	Factores emisión implícitos	Aplicación de un factor de emisión implícito obtenido a partir de emisiones medidas
TSP, PM ₁₀	CS	Factores emisión implícitos	Aplicación de un factor de emisión implícito obtenido a partir de emisiones medidas
PM _{2,5}	D	Guías CEPMEIP	Aplicación, sobre las emisiones de PM ₁₀ , de la ratio propuesta por CEPMEIP de relación entre emisiones de PM _{2,5} con respecto a PM ₁₀
BC	D	Guías CEPMEIP	Aplicación, sobre las emisiones de PM _{2,5} , de la ratio propuesta por CEPMEIP de relación entre emisiones de BC con respecto a PM _{2,5}
CO	CS	Factores emisión implícitos	Aplicación de un factor de emisión implícito obtenido a partir de emisiones medidas
As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn	CS	Factores emisión implícitos	Aplicación de un factor de emisión implícito obtenido a partir de emisiones medidas
Se	D	Guía EMEP/CORINAIR 1996, Cap. B426, Tabla 8.1	Factor de emisión por defecto
PAH	CS	Factores emisión implícitos	Aplicación de un factor de emisión implícito obtenido a partir de emisiones medidas

Observaciones: D: por defecto (del inglés "Default"); CS: específico del país (del inglés "Country Specific"); OTH: otros (del inglés "Other"); M: modelo (del inglés "Model"); IQ: cuestionario individualizado de las plantas

Incertidumbres

La incertidumbre de esta actividad a nivel de CRF 2C1 es la recogida en la siguiente tabla.

Contaminante	Inc. VA (%)	Inc. FE (%)	Descripción
CO ₂	5	4,9	<u>Variable de actividad</u> : se sitúa en un 5%, al tratarse de información directa de plantas o de la asociación sectorial UNESID <u>Factor de emisión</u> : incertidumbre obtenida a partir de los límites superior e inferior del intervalo de confianza del 95% establecido por la Guía IPCC 2006 en el volumen 2, capítulo 2, tabla 2.3

La incertidumbre de esta actividad a nivel de NFR 2C1 es la recogida en la siguiente tabla.

Contaminante	Inc. VA (%)	Inc. FE (%)	Descripción
SO ₂	40	190	<u>Variable de actividad</u> : Dado que la información procede de IQ se considera que la incertidumbre tiene un valor bajo <u>Factor de emisión</u> : Se calcula con las incertidumbres agregadas de los factores de emisión propuestos en la Guía EMEP/EEA 2019
PM _{2,5}	3,1	472	<u>Variable de actividad</u> : Dado que la información procede de IQ se considera que la incertidumbre tiene un valor bajo <u>Factor de emisión</u> : Se calcula con las incertidumbres agregadas de los factores de emisión propuestos en la Guía EMEP/EEA 2019
NMVOG, NO _x	-	-	No estimada. El Inventario contempla en su estimación de incertidumbre total, aquellos sectores que más emiten hasta completar el 97% de las emisiones totales, quedando esta actividad y contaminantes fuera del cómputo. Para más información consultar la metodología para el cálculo de incertidumbres del reporte a CRLTAP
TSP, PM ₁₀ , BC	-	-	Para estos contaminantes no se realizan análisis de incertidumbre. Para más información consultar la metodología para el cálculo de incertidumbres del reporte CRLTAP
Metales pesados	-	-	
PAH	-	-	

Coherencia temporal de la series

La serie se considera coherente al cubrir el conjunto de plantas del sector en el periodo inventariado y provenir la información directamente de las plantas.

Observaciones

No procede.

Criterio para la distribución espacial de las emisiones

El Inventario recibe la información a nivel de planta por los que las emisiones se asignan directamente a la provincia en la que se ubican cada planta.

Juicio de experto asociado

No procede.

Fecha de actualización

Febrero 2022.

ANEXO I

Datos de la variable de actividad

Los datos de variable de actividad correspondientes no se muestran por razones de confidencialidad.

Ficha Técnica

ANEXO II

Datos de factores de emisión

Los datos de factores de emisión correspondientes no se muestran por razones de confidencialidad.

Ficha Técnica

ANEXO III

Cálculo de emisiones

No procede.

Ficha Técnica

ANEXO IV

Emisiones

AÑO	CO ₂	NO _x	NM _{VOC}	SO ₂	PM _{2.5}	PM ₁₀	TSP	BC	CO	Pb	Cd	Hg	As	Cr	Cu	Ni	Se	Zn	PAH
	kt	t	t	t	t	t	t	t	t	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg
1990	687	41,95	24,74	651,80	-	-	-	-	96.536	38,34	15,47	14,44	3,93	102,21	21,45	59,92	17,46	165,67	2,32
1991	685	42,05	24,80	653,35	-	-	-	-	96.765	38,09	15,35	14,34	3,93	102,26	21,40	59,83	17,50	164,91	2,13
1992	604	37,23	21,96	578,49	-	-	-	-	85.677	33,49	13,48	12,60	3,48	90,40	18,88	52,81	15,50	145,20	1,81
1993	653	40,76	24,04	633,30	-	-	-	-	93.796	35,83	14,36	13,47	3,78	98,49	20,44	57,24	16,96	156,10	1,89
1994	647	40,97	24,16	636,53	-	-	-	-	94.274	35,09	13,99	13,17	3,78	98,45	20,28	56,90	17,05	153,70	1,77
1995	395	30,09	17,74	467,49	-	-	-	-	69.238	17,85	6,49	6,52	2,58	67,72	12,69	36,36	12,52	85,65	1,89
1996	343	27,35	16,13	424,92	-	-	-	-	62.933	14,59	5,11	5,27	2,30	60,60	11,07	31,92	11,38	72,20	1,49
1997	376	30,11	17,76	467,87	-	-	-	-	69.294	15,89	5,55	5,74	2,53	66,62	12,15	35,03	12,53	78,91	1,62
1998	393	31,99	18,86	496,98	-	-	-	-	73.606	16,25	5,60	5,84	2,67	70,41	12,73	36,79	13,31	81,67	1,63
1999	377	31,14	18,36	483,81	-	-	-	-	71.656	15,31	5,20	5,48	2,58	68,24	12,25	35,46	12,96	77,75	1,52
2000	359	31,31	18,46	486,37	32,58	32,58	90,31	32,58	72.034	14,59	4,85	5,19	2,58	68,14	12,09	35,10	13,03	75,38	1,41
2001	362	31,05	18,31	482,46	30,64	30,64	86,12	30,64	71.456	13,18	4,19	4,64	2,52	66,84	11,63	33,93	12,92	70,34	1,22
2002	357	30,47	17,97	473,42	30,55	30,55	85,50	30,55	70.116	13,30	4,29	4,70	2,49	65,80	11,51	33,55	12,68	70,30	1,25
2003	280	28,23	16,65	438,36	28,13	28,13	78,87	28,13	64.963	12,19	3,91	4,30	2,30	60,89	10,63	30,99	11,75	64,68	1,14
2004	293	31,26	18,43	463,39	29,28	29,28	83,47	29,28	71.918	12,07	3,65	4,19	2,51	66,58	11,37	33,33	13,01	66,68	1,06
2005	374	30,78	18,15	425,76	29,38	29,38	83,32	29,38	70.830	12,30	3,79	4,29	2,48	65,81	11,31	33,11	12,81	67,10	1,10
2006	434	26,10	15,39	336,72	24,73	24,73	70,28	24,73	60.048	10,29	3,15	3,59	2,10	55,72	9,55	27,98	10,86	56,42	0,92
2007	363	30,21	17,81	422,45	27,82	27,82	79,68	27,82	69.503	11,29	3,35	3,90	2,42	64,13	10,89	31,96	12,57	63,18	0,98
2008	356	29,33	17,29	410,55	26,44	26,44	76,18	26,44	67.480	10,52	3,04	3,61	2,33	62,01	10,44	30,72	12,20	59,82	0,89
2009	355	22,26	13,13	312,23	20,41	20,41	58,53	20,41	51.226	8,25	2,43	2,85	1,78	47,22	8,00	23,50	9,26	46,32	0,71
2010	350	27,58	16,26	391,55	23,89	23,89	69,62	23,89	63.454	9,15	2,50	3,10	2,18	57,87	9,61	28,38	11,48	53,67	0,73
2011	292	27,71	16,34	401,47	23,78	23,78	69,50	23,78	63.759	9,02	2,43	3,05	2,18	58,05	9,61	28,40	11,53	53,35	0,71
2012	189	24,70	14,56	349,88	22,19	22,19	64,00	22,19	56.831	8,81	2,53	3,02	1,97	52,19	8,78	25,84	10,28	50,19	0,74
2013	235	30,38	17,92	431,63	27,54	27,54	79,24	27,54	69.910	11,02	3,20	3,79	2,42	64,31	10,85	31,91	12,64	62,38	0,93
2014	244	30,30	17,87	420,74	28,78	28,78	81,73	28,78	69.718	12,00	3,68	4,18	2,44	64,72	11,11	32,52	12,61	65,69	1,07
2015	270	34,37	20,27	484,46	31,78	31,78	90,92	31,78	79.094	12,94	3,85	4,48	2,75	73,03	12,41	36,43	14,30	72,20	1,12
2016	252	31,03	18,30	423,50	29,67	29,67	84,11	29,67	71.409	12,44	3,84	4,34	2,50	66,37	11,42	33,41	12,91	67,79	1,12
2017	271	34,50	20,34	481,18	31,85	31,85	91,16	31,85	79.377	12,96	3,85	4,48	2,76	73,27	12,45	36,54	14,36	72,35	1,12
2018	280	35,06	20,67	493,68	32,93	32,93	93,80	32,93	80.667	13,60	4,12	4,73	2,82	74,72	12,77	37,43	14,59	75,02	1,20
2019	249	30,56	18,02	426,23	29,42	29,42	83,24	29,42	70.328	12,40	3,85	4,34	2,47	65,46	11,29	33,00	12,72	67,28	1,12