



Folleto informativo de tecnología de aguas residuales

Desinfección con cloro

DESCRIPCIÓN

El impacto de las aguas residuales no tratadas en las fuentes de agua comunitarias ha puesto de presente diversas problemáticas de salud y seguridad. Los organismos potencialmente problemáticos en el agua residual doméstica incluyen a las bacterias entéricas, los virus y los quistes de protozoarios. La Tabla 1 resume los microorganismos más comunes que se encuentran en el agua residual doméstica y los tipos de enfermedades humanas asociadas con los mismos. Como respuesta a estas preocupaciones, la desinfección se ha convertido en uno de los mecanismos principales para la desactivación o destrucción de los organismos patógenos. Para que la desinfección sea efectiva, el agua residual debe ser tratada adecuadamente.

APLICABILIDAD

El cloro es el desinfectante más usado para el tratamiento del agua residual doméstica porque destruye los organismos a ser inactivados mediante la oxidación del material celular. El cloro puede ser suministrado en muchas formas que incluyen el gas de cloro, las soluciones de hipoclorito y otros compuestos clorinados en forma sólida o líquida. Algunas de las alternativas de desinfección incluyen la ozonización y la desinfección con radiación ultravioleta (UV). La selección de un desinfectante adecuado para una instalación de tratamiento depende de los siguientes criterios:

- La capacidad de penetrar y destruir los gérmenes infecciosos en condiciones normales de operación.
- La facilidad y seguridad en el manejo, el almacenamiento y el transporte.
- La ausencia de residuos tóxicos y de compuestos mutagénicos o carcinógenos.
- Costos razonables de inversión de capital y de operación y mantenimiento (O/M).

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

El cloro es un desinfectante que tiene ciertos limitantes en términos de salubridad y seguridad, pero al mismo tiempo tiene un largo historial como un desinfectante efectivo. Antes de decidir si el cloro reúne las condiciones para su uso por parte de una municipalidad es necesario entender las ventajas y desventajas de este producto.

Ventajas

- La cloración es una tecnología bien establecida.
- En la actualidad la cloración es más eficiente en términos de costo que la radiación UV o la desinfección con ozono (excepto cuando la descloración y el cumplimiento con requisitos del prevención de incendios son requeridos).
- El cloro residual que permanece en el efluente del agua residual puede prolongar el efecto de desinfección aún

después del tratamiento inicial, y puede ser medido para evaluar su efectividad

TABLA 1 AGENTES POTENCIALMENTE INFECCIOSOS PRESENTES EN AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS NO TRATADAS

Organismo	Enfermedad Causada
Bacterias	
<i>Escherichia coli</i>	Gastroenteritis
<i>Leptospira</i> (spp.)	Leptospirosis
<i>Salmonella typhi</i>	Fiebre tifoidea
<i>Salmonella</i> (2,100 serotipos)	Salmonelosis
<i>Shigella</i> (4 spp.)	Shigelosis (disentería bacilar)
<i>Vibrio cholerae</i>	Cólera
Protozoos	
<i>Balantidium coli</i>	Balantidiasis
<i>Cryptosporidium parvum</i>	Cryptosporidiasis
<i>Entamoeba histolytica</i>	Amebiasis (disentería amebica)
<i>Giardia lamblia</i>	Giardiasis
Helmintos	
<i>Ascaris lumbricoides</i>	Ascariasis
<i>T. solium</i>	Teniasis
<i>Trichuris trichiura</i>	Tricuriasis
Virus	
Virus entéricos (72 tipos, por ejemplo los virus <i>echo</i> y <i>coxsackie</i> del polio)	Gastroenteritis, anomalías del corazón y meningitis.
Hepatitis A	Hepatitis de tipo infeccioso
Agente de Norwalk	Gastroenteritis
Rotavirus	Gastroenteritis

Fuente: Tabla adaptada de Crites and Tchobanoglous, 1998 con permiso de The McGraw-Hill Companies

- La desinfección con cloro es confiable y efectiva para un amplio espectro de organismos patógenos.
- El cloro es efectivo en la oxidación de ciertos compuestos orgánicos e inorgánicos.
- La cloración permite un control flexible de la dosificación.

- El cloro puede eliminar ciertos olores molestos durante la desinfección.

Desventajas

- El cloro residual, aún a bajas concentraciones, es tóxico a los organismos acuáticos y por ello puede requerirse la descloración.
- Todas las formas de cloro son muy corrosivas y tóxicas. Como consecuencia, el almacenamiento, el transporte y el manejo presentan riesgos cuya prevención requiere normas más exigentes de seguridad industrial.
- El cloro oxida ciertos tipos de materiales orgánicos del agua residual generando compuestos más peligrosos (tales como los metanos trihalogenados [MTH]).
- El nivel total de sólidos disueltos se incrementa en el agua efluente.
- El cloro residual es inestable en presencia de altas concentraciones de materiales con demanda de cloro, por lo cual pueden requerirse mayores dosis para lograr una desinfección adecuada.
- Algunas especies parásitas han mostrado resistencia a dosis bajas de cloro, incluyendo los oocistos de *Cryptosporidium parvum*, los quistes de *Entamoeba histolytica* y *Giardia lamblia*, y los huevos de gusanos parásitos.
- Se desconocen los efectos a largo plazo de la descarga de compuestos de la descloración al medio ambiente.

CRITERIOS DE DISEÑO

Cuando el gas de cloro y las sales de hipoclorito se añaden al agua, se produce la hidrólisis y la ionización para formar ácido hipocloroso

(HOCl) e iones de hipoclorito (OCl), también conocidos como cloro libre disponible. El cloro libre reacciona rápidamente con el amoníaco en efluentes no nitrificados para formar compuestos combinados de cloro, principalmente monocloramina, la cual es la forma de cloro que predomina en la práctica.

Cloración

La Figura 1 muestra un diagrama de flujo del proceso de cloración usando cloro en forma gaseosa y líquida. Para su desempeño óptimo, un sistema de desinfección con cloro debe operar con flujo en pistón y ser muy turbulento para lograr una mezcla inicial en menos de un segundo. El objetivo de un mezclado apropiado es el fomentar la desinfección al iniciar una reacción entre el cloro libre en la corriente de solución de cloro con el nitrógeno amoniacal. Esto previene que concentraciones elevadas de cloro persistan y formen otros compuestos clorinados.

Otro proceso importante que contribuye a una desinfección óptima es el contacto. La cámara de contacto debe ser diseñada con vértices redondeados para prevenir áreas sin circulación y deflectores que minimicen el flujo en corto circuito. Este diseño proporciona un tiempo de contacto adecuado entre los microorganismos y el cloro a una concentración mínima durante un periodo de tiempo específico.

El grado de desinfección requerido de cualquier sistema de desinfección por cloración puede ser obtenido mediante la variación de la dosis y el tiempo de contacto. La dosis de cloro varía con base en la demanda de cloro, las características del agua residual y los requisitos de descarga del efluente. La dosis generalmente tiene un rango de 5 a 20 miligramos por litro (mg/L). La Tabla 2 describe algunas de las características del agua residual y su impacto en la cloración. Hay otros factores que aseguran condiciones óptimas de desinfección; estos incluyen la temperatura, la alcalinidad y el contenido de nitrógeno. Todos los criterios clave de diseño deben ser evaluados en estudios piloto del sistema de desinfección

con cloro con anterioridad a su aplicación a mayor escala.

Descloración

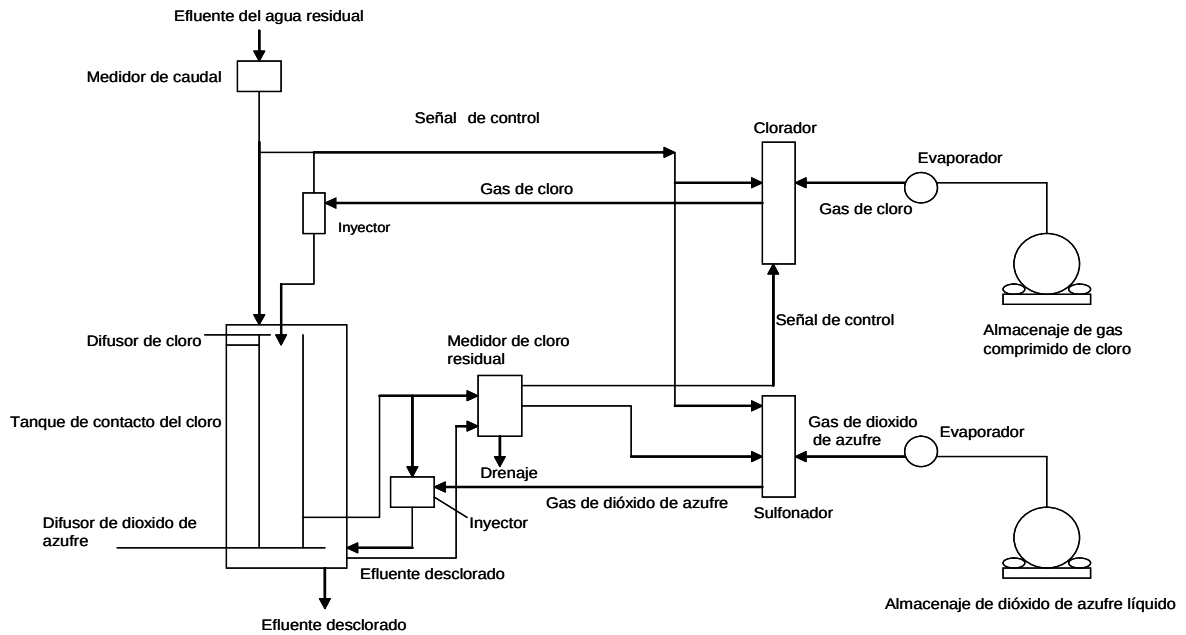
Luego de la desinfección el cloro residual puede persistir por muchas horas en el efluente. La mayoría de los gobiernos estatales no permiten el uso del cloro cuando se hacen descargas a aguas receptoras en estado natural debido a sus efectos en las especies acuáticas, a menos que se minimizen estos efectos, para lo cual debe hacerse la descloración del agua residual.

TABLA 2 CARACTERÍSTICAS DEL AGUA RESIDUAL QUE AFECTAN LA EFICIENCIA DE LA CLORACIÓN

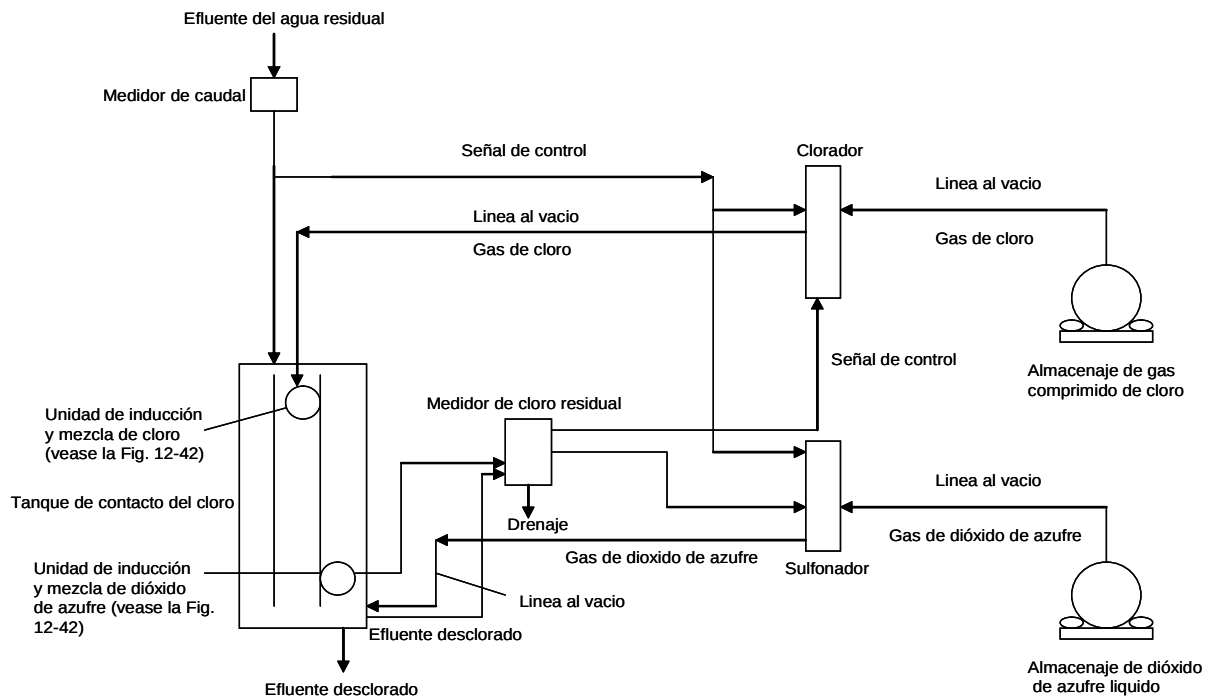
Característica del agua residual	Efecto en la desinfección con cloro
Amoníaco	Forma cloraminas cuando se combina con cloro
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	El grado de interferencia depende de los grupos funcionales y la estructura química
Dureza del agua, hierro, nitratos	De presentarse, sus efectos son menores
Nitrito	Reduce la efectividad del cloro y resulta en la formación de MTH
pH	Afecta la distribución entre el ácido hipocloroso y los iones de hipoclorito, y entre las varias especies químicas de cloraminas
Sólidos suspendidos totales	Aísla las bacterias que se encuentran incorporadas y que representan demanda de cloro

La descloración es el proceso de remoción de los residuos libres y combinados de cloro para reducir la toxicidad residual luego de la cloración y antes de su descarga. El dióxido de sulfuro, el bisulfito de sodio, y el metabisulfito

de sodio son los compuestos comúnmente usados como químicos de descloración. El carbón activado también ha sido utilizado. El total del cloro residual puede ser normalmente reducido a un nivel no tóxico a la vida acuática. Los sistemas de cloración/descloración son más complejos de operar y mantener que los sistemas de cloración. La Figura 1 muestra un diagrama del sistema de cloración/descloración utilizando dióxido de azufre.



(a)



(b)

FIGURA 1 SISTEMA PARA CLORACIÓN CON GAS DE CLORO Y DESCLORACIÓN CON DIÓXIDO DE AZUFRE USANDO CONTROL EN CIRCUITO POR COMPUESTO: (a) INYECCIÓN DE CLORO LÍQUIDO; (b) INYECCIÓN DE GAS DE CLORO POR INDUCCIÓN

DESEMPEÑO

Planta de tratamiento de aguas residuales de Marsh Creek en Geneva, New York

La planta de tratamiento de aguas residuales de Marsh Creek en Geneva, New York, logró el cumplimiento con estrictos requisitos estatales para el cloro residual y los coliformes fecales mediante la adopción de una nueva estrategia de control de la cloración. Se desarrolló una estrategia para hacer el monitoreo de la demanda cambiante de cloro de la planta y para suministrar el cloro requerido mediante la medición del potencial de oxido-reducción REDOX (PR).

Después de realizar un estudio de tres meses, se instaló en la planta un sistema de PR para monitoreo y regulación de la cantidad de cloro presente en la solución. El sistema de control hacía mediciones de la demanda de cloro y regulaba el suministro de cloro necesario para obtener y mantener los parámetros establecidos para los puntos de PR. El sistema fue calibrado para mantener un límite de control del cloro total entre 0.2 y 0.1 mg/L.

Un electrodo localizado a unos 300 pies aguas arriba del punto de inyección proporcionaba las mediciones de PR, las cuales eran convertidas a una señal eléctrica de 4 a 20 miliamperios. Con base en la señal, el sistema de control regulaba el clorador y hacía coincidir la tasa de alimentación con la demanda cambiante de cloro en el sistema. Un segundo electrodo era usado en la descarga de la tubería de salida para hacer el monitoreo de la precisión del sistema de control de cloro.

La planta de tratamiento logró de esa manera cumplir con los límites de coliformes fecales y mantener en el efluente un residuo de cloro de menos de 0.25 mg/L. Además de permitir el cumplimiento con los límites de descarga, la planta logró reducir de forma significativa el costo del consumo de cloro. Durante el periodo

de estudio se calculó que el sistema de control de PR podría pagarse en aproximadamente 30 meses debido a la reducción del costo del consumo de cloro.

Planta de aguas residuales del Distrito de Servicios Municipales de la Bahía Este en Oakland, California

El *East Bay Municipal Utility District* en Oakland, California era propietario y operador de una planta de aguas residuales con un caudal de diseño de 310 millones de galones por día (mgd) en la cual la cloración y descloración eran componentes requeridos del proceso de tratamiento. Dado este requisito, el optimizar el sistema de descloración era un punto crítico para cumplir con el límite de cero descarga de cloro residual durante periodos de operación de tiempo seco y con lluvias según lo requerido en el permiso federal de descarga (*National Pollution Discharge Elimination System*).

Un sistema de bisulfito de sodio (SBS) fue añadido como respaldo a las operaciones de descloración. Este sistema tuvo muy buen desempeño y permitió que la planta cumpliera con los requisitos del permiso. Este sistema es similar a una instalación de dosificación química compuesta de un sistema de almacenamiento, una bomba de suministro, un sistema de medición, una válvula de control y un mecanismo de inyección.

El sistema SBS se programó para iniciar su operación a una concentración calculada de SO_2 de 1.5 mg/L. También se programó para iniciar su operación cuando el suministro de SO_2 era desconectado en forma automática por el sistema de detección de fugas de SO_2 , o durante la operación en periodos de lluvia, cuando la demanda de SO_2 podía exceder la capacidad del sistema de SO_2 .

La planta de tratamiento también requería optimizar la utilización de compuestos químicos

debido al incremento continuo del costo de los mismos. La dosis original de cloro era de 15 mg/L, de los cuales 5 a 6 mg/L eran consumidos y 9 a 10 mg/L permanecían como cloro residual. El residuo de cloro pudo entonces ser reducido gradualmente desde valores de 9 a 10 mg/L hasta un rango de 3 a 5 mg/L sin que se afectara el cumplimiento con los requisitos del permiso de descarga. Además de una reducción en el uso de cloro, esto también dio como resultado un menor consumo de SO_2 .

Al adoptar una estrategia con un mayor enfoque en el control de costos mediante la optimización de procesos, la planta logró reducir el costo de abastecimiento de sustancias químicas en más del 30 por ciento.

OPERACION Y MANTENIMIENTO

Un programa rutinario de operación y mantenimiento (O/M) debe ser desarrollado y puesto en marcha para todo sistema de desinfección con cloro. El programa de O/M incluye las siguientes actividades:

- Desensamble y limpieza de los diversos componentes del sistema, tales como los metros y flotas una vez cada seis meses.
- Remoción de depósitos de hierro y manganeso usando, por ejemplo, ácido muriático.
- Mantenimiento de las bombas de rebombeo.
- Inspección y limpieza anual de las válvulas y resortes.
- Cumplimiento con las recomendaciones de O/M de los fabricantes.
- Evaluación y calibrado de equipos tal como lo recomienda el fabricante de los equipos.
- Desarrollo de un plan de respuesta a emergencias para el almacenaje del gas de cloro.

Cuando se utiliza cloro es muy importante almacenar en forma segura y apropiada todos

los agentes químicos de desinfección. Para información adicional referente al uso y almacenaje de cloro deben consultarse las Hojas de Seguridad Industrial de Materiales (*Material Safety Data Sheet*). El gas de cloro se almacena normalmente en tanques de acero (cilindros de 150 libras o contenedores de una tonelada) y es transportado en vagones de ferrocarril o en carrotaques. La solución de hipoclorito de sodio debe ser almacenada en tanques de fibra de vidrio o de acero con recubrimiento de caucho. El hipoclorito de calcio se envía en barriles o carrotaques y debe ser almacenado con mucha precaución.

COSTOS

Los costos de los sistemas de desinfección con cloro dependen del fabricante de los equipos, la ubicación y la capacidad de la planta, y las características del agua residual a ser tratada. Los compuestos de hipoclorito, por ejemplo, tienden a ser más costosos que el gas de cloro. Por otra parte, varias ciudades de gran tamaño han adoptado el uso de hipoclorito, a pesar de su mayor costo, para evitar el transporte de cloro a través zonas urbanas. Además de los costos que se incurren con la cloración, algunas municipalidades también deben tener en consideración el costo de introducir el proceso de descloración. El costo total de la cloración puede aumentarse de un 30 a un 50 por ciento con la adición de la descloración.

La Tabla 3 resume los resultados de un estudio realizado en 1995 por la *Water Environment Research Foundation* usando efluentes secundarios de instalaciones de desinfección con caudales promedio de periodos de tiempo seco de 1, 10 y 100 mgd (2.25, 20 y 175 mgd de caudal máximo en periodos de lluvia, respectivamente). Los costos anuales de O/M para la desinfección con cloro incluyen el consumo de energía eléctrica, los compuestos químicos y materiales de limpieza, la reparación de equipos misceláneos y los costos de personal.

Los costos asociados con los requisitos del código federal de prevención de incendios (*Uniform Fire Code*) puede ser alto para instalaciones pequeñas, pudiendo representar hasta el 25 por ciento del costo total.

TABLA 3 COSTOS TOTALES ANUALIZADOS DE LA CLORACIÓN Y LA DESCLORACIÓN

Caudal (mgd)			Costos estimados de inversión (dólares)				
PPTS	MPLL	Dosis de Cl ₂ (mg/L)	Cloración	Descloración	CPI*	Total	Estimado de O/M
1	2.25	5	410,000	290,000	239,000	1,127,000	49,3000
10	20	5	1,804,000	546,000	546,000	3,137,000	158,200
100	175	5	10,131,000	1,031,000	788,000	14,340,000	660,000
1	2.25	10	441,000	370,000	239,000	1,260,000	59,200
10	20	10	2,051,000	664,000	264,000	3,575,000	226,700
100	175	10	10,258,000	1,258,000	788,000	14,765,000	721,800
1	2.25	20	445,000	374,000	239,000	1,270,000	76,600
10	20	20	2,113,500	913,000	264,000	3,949,000	379,100
100	175	20	10,273,000	1,273,000	788,000	14,801,000	1,311,000

* CPI – Código de prevención de incendios (el costo incluye los requerimientos para cumplir con el Artículo 80 del *Uniform Fire Code* de 1991).

PPTS = Promedio de periodos de tiempo seco; MPLL = Máximo de periodos de lluvia.

Fuente: Darby et al, con permiso de la Water Environment Research Foundation, 1995.

REFERENCIAS

1. Crites, R. and G. Tchobanoglous. 1998. Small and Decentralized Wastewater Management Systems. The McGraw-Hill Companies. New York, New York.
2. Darby, J.; M. Heath; J. Jacangelo; F. Loge; P. Swaim; and G. Tchobanoglous. 1995. Comparison of UV Irradiation to Chlorination: Guidance for Achieving Optimal UV Performance. Water Environment Research Foundation. Alexandria, Virginia.
3. Eddington, G. June 1993. "Plant Meets Stringent Residual Chlorine Limit.". Water Environment & Technology. P. 11-12.
4. Horenstein, B; T. dean; D. Anderson; and W. Ellgas. October 3-7, 1993. "Dechlorination at EBMUD: Innivative and Efficient and reliable." Proceedings of the Water Environment Federation Sisty-sixth Annual Conference and Exposition. Anaheim, California.
5. Metcalf & Eddy, Inc. 1991. Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, and Reuse. 3d ed. The McGraw-Hill Companies. New York, New York.
6. Task Force on Wastewater Disinfection. 1986. Wastewater Disinfection. Manual of Practice No. FD-10. Water Pollution Control Federation. Alexandria, Virginia.
7. U.S. Environmental Protection Agency (EPA). 1986. Design Manual: Municipal Wastewater Disinfection. EPA Office of Research and Development. Cincinnati, Ohio. EPA/625/1-86/021.

INFORMACIÓN ADICIONAL

Bruce Adams
Operations Foreman
City of Cortland Wastewater Treatment Plant
251 Port Watson Street
Cortland, NY 13045

Jim Jutras
Plant Director
Essex Junction Wastewater Facility
2 Lincoln Street
Essex Junction, VT 05452

John O'Neil
Johnson County Wastewater Treatment Facility
7311 W. 130th Street
Overland Park, KS 66213

Joseph Souto
Plant/Sewer Superintendent
Bridgewater Wastewater Treatment Facility
100 Morris Avenue
Bridgewater, MA 02324

La mención de nombres de marca o productos comerciales no constituye una aprobación o recomendación de uso por parte de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (U.S. EPA).

Para mayor información, contactarse con:

Municipal Technology Branch
U.S. EPA
Mail Code 4204
1200 Pennsylvania Avenue, NW
Washington, D.C. 20460